

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Dekompenzace nabíjecího kapacitního proudu vedení

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš WARNICKI**
Osobní číslo: **E15N0047P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Dekompenzace nabíjecího kapacitního proudu vedení**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Diplomová práce "Dekompenzace nabíjecího kapacitního proudu vedení" bude zaměřena na tyto body:

1. Uveďte základní informace, které se týkají nabíjecích kapacitních proudů kabelové sítě větrných elektráren.
2. Zpracujte analýzu k dodržování předepsaného účinníku v předávacím místě.
3. Stanovte optimální účinník z pohledu přenosu elektrické energie, jak se může projevit vliv ztrát a změny napětí v předávacím místě.
4. Pro konkrétní případ proveďte návrh kompenzačního a dekompenzačního výkonu při připojení větrné elektrárny do distribuční sítě.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- 1. Skripta k předmětu Teorie přenosu a rozvodu elektrické energie, VEN.**
- 2. Elektroenergetika I, II.**
- 3. Internetové podklady.**
- 4. Dle uvážení a pokynů udá konzultant.**

Vedoucí diplomové práce:

Doc. Ing. Lucie Noháčová, Ph.D.

Katedra elektroenergetiky a ekologie

Konzultant diplomové práce:

Ing. František Žák

EGE, spol.s.r.o, Novohradská 34, 370 08 České
Budějovice

Datum zadání diplomové práce:

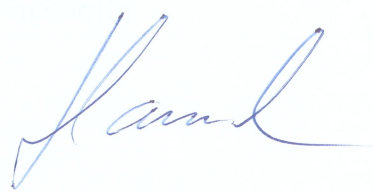
14. října 2016

Termín odevzdání diplomové práce:

19. května 2017


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zaměřuje na řešení dekompenzace kapacitních nabíjecích proudů v souvislosti s kabelovými vedeními vysokých napětí a velmi vysokých napětí pro připojování větrných elektráren do distribuční soustavy. V práci je popsána základní teorie, týkající se řešené problematiky, dále jsou uvedeny legislativní požadavky pro připojování obnovitelných zdrojů do distribuční soustavy. V praktické části je řešena případová studie, analyzující konkrétní případ. Studií jsou zpracovávány možnosti připojování dekompenzačních zařízení různých velikostí tak, aby bylo v předávacím místě dosaženo požadovaných hodnot účinníku.

Klíčová slova

Dekompenzace, tlumivka, nabíjecí kapacitní proudy, kabelová vedení, účinník, distribuční soustava, připojování větrných elektráren

Abstract

The diploma thesis focuses to offer a solution for a decompensation of capacitance charging electric currents in relation with line management of high and very high voltage for connection of wind power plants into distribution system. The thesis describes basic theories regarding the subject continuing with legislative requirements for engagement of renewable sources within the distribution system. The practical part involves in case study analyzing a specific instance. The study gives options to connect decompensation devices of various dimensions in a way that it achieves required power factor values in the transfer point.

Key words

Decompensation, reactors, charging capacity current, cable line, power factor, distribution systém, connection of wind power plants

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 15.5.2017

Bc. Lukáš Warnicki

Poděkování

Na tomto místě bych rád vyjádřil své díky vedoucí mé diplomové práce Doc. Ing. Lucii Noháčové Ph.D. a panu Ing. Františku Žákovi Ph.D. za odborné rady, připomínky a ochotný přístup při psaní této práce.

Zvláštní poděkování patří mým blízkým, především mé rodině, která mne po celou dobu studia trpělivě podporovala.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	11
1 VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	12
1.1 GENERÁTORY VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN	13
1.1.1 Synchronní generátory.....	13
1.1.2 Asynchronní generátory.....	14
2 ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVA	15
3 ELEKTRICKÉ VEDENÍ	17
3.1 VENKOVNÍ VEDENÍ	17
3.2 KABELOVÁ VEDENÍ	18
4 KOMPENZACE A DEKOMPENZACE	20
4.1 KONDENZÁTORY	21
4.2 TLUMIVKY.....	22
4.2.1 Kompenzační tlumivky.....	23
4.2.2 Spínané tlumivky.....	24
4.2.3 Statické kompenzátory jalového výkonu	25
4.3 DŮSLEDKY PROVOZU SE ŠPATNÝM ÚČINÍKEM	25
5 LEGISLATIVA PŘIPOJOVÁNÍ OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ	26
5.1 PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ.....	26
5.2 POŽADAVKY DISTRIBUTORŮ	28
6 PŘÍPADOVÁ STUDIE	30
6.1 NÁHRADNÍ SCHÉMA.....	31
6.2 VÝPOČET	32
6.2.1 Výpočet parametrů.....	32
6.2.2 Výpočet náhradního schéma.....	35
6.2.3 Program pro výpočet.....	45
7 NÁVRH KOMPENZACE	47
7.1 ŘEŠENÍ BEZ KOMPENZAČNÍHO ZAŘÍZENÍ.....	48
7.2 KOMPENZACE FIXNÍ TLUMIVKOU.....	51
7.3 KOMPENZACE PLYNULE LADITELNOU TLUMIVKOU	54
8 ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ	57
8.1 DODRŽOVÁNÍ ÚČINÍKU V PŘEDÁVACÍM MÍSTĚ.....	57
8.2 ZTRÁTY	58
8.3 OMEZOVÁNÍ KAPACITNÍHO NABÍJECÍHO PROUDU	59
8.4 ZMĚNY NAPĚTÍ V PŘEDÁVACÍM MÍSTĚ	60
ZÁVĚR	61
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	64
PŘÍLOHY	1

PŘÍLOHA A.1	TABULKA BEZ KOMPENZACE NA $\cos\phi=1$	1
PŘÍLOHA A.2	TABULKA BEZ KOMPENZACE NA $\cos\phi=0,97$	2
PŘÍLOHA A.3	TABULKA BEZ KOMPENZACE NA $\cos\phi=0,95$	3
PŘÍLOHA A.4	TABULKA BEZ KOMPENZACE NA $\cos\phi=-0,97$	4
PŘÍLOHA A.5	TABULKA BEZ KOMPENZACE NA $\cos\phi=-0,95$	5
PŘÍLOHA A.6	TABULKA S FIXNÍ TLUMIVKOU 5 MVAR NA $\cos\phi=1$	6
PŘÍLOHA A.7	TABULKA S FIXNÍ TLUMIVKOU 5 MVAR NA $\cos\phi=0,97$	7
PŘÍLOHA A.8	TABULKA S FIXNÍ TLUMIVKOU 5 MVAR NA $\cos\phi=0,95$	8
PŘÍLOHA A.9	TABULKA S FIXNÍ TLUMIVKOU 5 MVAR NA $\cos\phi=-0,97$	9
PŘÍLOHA A.10	TABULKA S FIXNÍ TLUMIVKOU 5 MVAR NA $\cos\phi=-0,95$	10
PŘÍLOHA A.11	TABULKA S LADITELNOU TLUMIVKOU 600 KVAR - 6 MVAR NA $\cos\phi=1$	11
PŘÍLOHA A.12	TABULKA S LADITELNOU TLUMIVKOU 600 KVAR - 6 MVAR NA $\cos\phi=0,97$	12
PŘÍLOHA A.13	TABULKA S LADITELNOU TLUMIVKOU 600 KVAR - 6 MVAR NA $\cos\phi=0,95$	13
PŘÍLOHA A.14	TABULKA S LADITELNOU TLUMIVKOU 600 KVAR - 6 MVAR NA $\cos\phi=-0,97$	14
PŘÍLOHA A.15	TABULKA S LADITELNOU TLUMIVKOU 600 KVAR - 6 MVAR NA $\cos\phi=-0,95$	15
PŘÍLOHA B.1	GRAFY KOMPENZACE FIXNÍ TLUMIVKOU, 1 MVAR.....	16
PŘÍLOHA B.2	GRAFY KOMPENZACE FIXNÍ TLUMIVKOU, 2 MVAR.....	19
PŘÍLOHA B.3	GRAFY KOMPENZACE FIXNÍ TLUMIVKOU, 3 MVAR.....	22
PŘÍLOHA B.4	GRAFY KOMPENZACE FIXNÍ TLUMIVKOU, 4 MVAR.....	25
PŘÍLOHA B.5	GRAFY KOMPENZACE FIXNÍ TLUMIVKOU, 6 MVAR.....	28
PŘÍLOHA B.6	GRAFY KOMPENZACE LADITELNOU TLUMIVKOU, 400 KVAR - 4 MVAR.....	31
PŘÍLOHA B.7	GRAFY KOMPENZACE LADITELNOU TLUMIVKOU, 500 KVAR - 5 MVAR.....	34
PŘÍLOHA C.1	GRAFY ZTRÁT.....	37
PŘÍLOHA D.1	MAKRO PRO VÝPOČET, CALCULATE.....	39
PŘÍLOHA D.2	MAKRO PRO ULOŽENÍ A VYTVOŘENÍ GRAFŮ, SAVE.....	41

Seznam symbolů a zkratek

B	Susceptance (S)
B_q	Susceptance naprázdno (S)
G_q	Konduktance naprázdno (S)
\bar{I}	Proud v komplexním tvar (A)
I_A	Proud dodávaný větrnou elektrárnou (A)
$I_{A\check{c}}$	Činná složka proudu (A)
I_{Aj}	Jalová složka proudu (A)
$I_{PM\check{c}}$	Činná složka proudu v předávacím místě (A)
I_{PMj}	Jalová složka proudu v předávacím místě (A)
$i_0[\%]$	Proud naprázdno transformátorem (%)
p_I	Převod proudu (-)
p_z	Převod impedance (-)
P_A	Výkon větrné elektrárny (W)
P_{PM}	Činný výkon v předávacím místě (W)
P_{tlum}	Ztráty tlumivky (W)
P_z	Třífázové ztráty (W)
Q	Jalový výkon (VAr)
Q_{PM}	Jalový výkon v předávacím místě (VAr)
Q_{tlum}	Kompenzační výkon (VAr)
R	Rezistance (Ω)
R_k	Rezistance nakrátko transformátoru (Ω)
R_{tlum}	Rezistance vyjadřující ztráty tlumivky (Ω)
S	Zdánlivý výkon (VA)
S_n	Jmenovitý výkon transformátoru (VA)
S_{PM}	Zdánlivý výkon v předávacím místě (VA)
\bar{U}	Napět v komplexním tvar (V)
U_n	Jmenovité napětí strany, na kterou jsou hodnoty počítány (V)
U_{22f}	Fázové napětí, na kterém je umístěna elektrárna (V)
U_{110n}	Jmenovité napětí na straně distribuční soustavy (V)
U_{22n}	Jmenovité napětí na straně provozovatele VTE (V)
$u_k[\%]$	Napětí nakrátko transformátorem (%)

X.....	Reaktance (Ω)
X_k	Reaktance nakrátko transformátoru (Ω)
X_{tlum}	Reaktance tlumivky (Ω)
Y_q	Admitance naprázdno (S)
Z.....	Impedance (Ω)
\overline{Z}	Impedance v komplexním tvar (Ω)
Z_k	Impedance nakrátko (Ω)
ΔP_k	Ztráty nakrátko transformátoru (W)
ΔP_0	Ztráty naprázdno transformátoru (W)
$\cos\varphi_{PM}$	Účinit v předávacím místě (-)
$\cos\varphi_{VTE}$	Účinit větrné elektrárny (-)
VTE.....	Větrné elektrárny
ES.....	Elektrizační soustava
DS	Distribuční soustava
PDS	Provozovatel distribuční soustavy
PPDS.....	Pravidla provozování distribučních soustav
NN.....	Nízké napětí
VN.....	Vysoké napětí
VNN.....	Velmi vysoké napětí
ZVN	Zvlášť vysoké napětí

Úvod

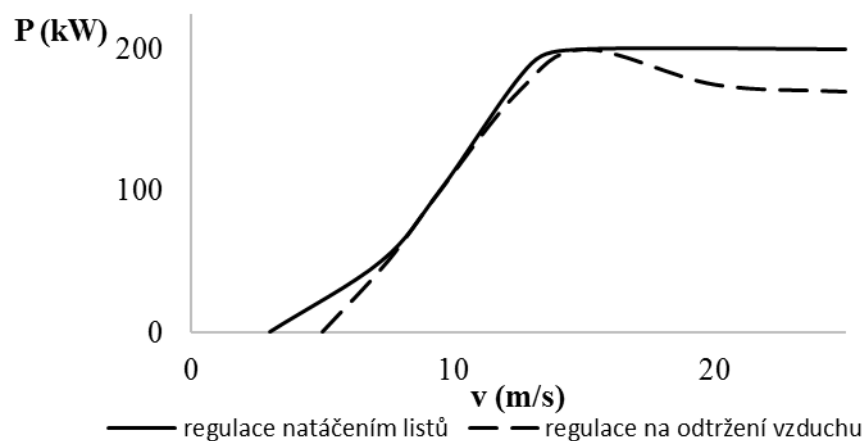
Již delší dobu vzrůstá podíl výroben elektrické energie z obnovitelných zdrojů, kterými mohou být větrné elektrárny, nebo také fotovoltaické elektrárny. V současnosti je nutné řešit problematiku jejich připojování do elektrizační soustavy, ale je také možné, že často bude nutné připojení výroben řešit i použitím kabelového vedení. Nesnáze nastávají připojováním do míst soustavy, do kterých s nimi dříve nebylo počítáno. U kabelových nezátížených vedení nastává problém s vysokými hodnotami nabíjecích kapacitních proudů, to poté způsobuje přetěžování soustavy a odběr jalové energie kapacitního charakteru.

V této práci se zaměřuji na studii řešící připojení větrných farem do distribuční soustavy kabelovým vedením z pohledu řešení právě dekompenzace nabíjecího kapacitního proudu vedení. Dále je v místě, které slouží jako předávací bod mezi větrnou elektrárnou a provozovatelem distribuční soustavy řešen požadavek na dodávku výkonu s patřičným požadovaným účínkem.

V práci tedy v úvodní části popisují základní poznatky o větrných elektrárnách z pohledu zkoumané problematiky. Dále jsou v práci rozebrány rozdíly mezi vedením venkovním a kabelovým, které je ve studii použito. Velký důraz je kladen na část zabývající se kompenzací a na to, jakým zařízením je prováděna.

1 Větrné elektrárny

Větrné elektrárny vytvářejí elektrickou energii použitím synchronních nebo asynchronních generátorů. Větrné elektrárny jsou konstruovány většinou s vodorovnou osou a s třemi listy, přičemž jsou vybaveny dalšími motory, které slouží k otáčení rotoru elektrárny proti směru větru. Systémy elektráren jsou vybaveny brzdou, která může v případě vysokých povětrnostních podmínek přesahujících maximální povolenou rychlost 25 m/s zabrzdit, anebo přibrzďovat rotor stroje, aby nedošlo k mechanickému poškození. Na obrázku Obr. 1.1, zobrazující výkonovou charakteristiku generátoru, je zobrazeno, že začíná pracovat až při rychlosti mezi 3 až 5,5 m/s a svého maxima dosahuje při rychlosti větru 13 až 15 m/s. [1]



Obr. 1.1 Výkonová charakteristika VTE [1]

Větrné motory provádějí přeměnu kinetické energie větru na mechanickou práci a následně na energii elektrickou. Jedním z možných rozdělení je podle uložení osy rotace na vodorovné a svislé. Větrné elektrárny pracující s vodorovnou osou jsou těmi nejpoužívanějšími, pracují na vztlakovém principu a vyrábějí se do výkonů až několika megawatt. Jsou jimi klasické větrné mlýny, pomaloběžné větrné motory a rychloběžné větrné motory. Druhým zmíněným typem se svislou osou jsou větrné elektrárny nejstaršího typu. Jsou jednoduché a bez složitého přenosu výkonu díky možnému umístění generátoru. Pracují na principu odporovém nebo vztlakovém. [1]

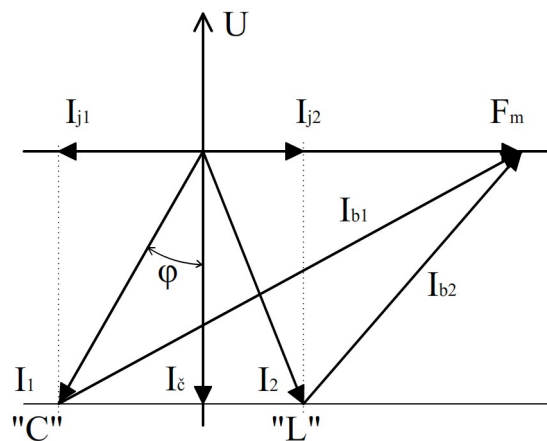
Dalším rozdělením je podle aerodynamické podstaty principu větrného motoru na větrné motory pracující na odporovém principu a na větrné motory pracující na vztlakovém principu.

1.1 Generátory větrných elektráren

Malé větrné elektrárny používají synchronní generátory s permanentními magnety. Větrné elektrárny pro střední až velké výkony využívají asynchronní generátory s kotvou nakrátko pro svou vysokou spolehlivost. Větrné elektrárny největších výkonů využívají synchronních generátorů s budícím vinutím na rotoru. [1]

1.1.1 Synchronní generátory

Synchronní generátor pracuje paralelně s energetickou soustavou, na takzvané tvrdé síti. Otáčky generátoru jsou přímo určeny kmitočtem sítě. Generátor se připojuje k síti při fázování. Generátor je schopen kompenzovat poměry v síti při stavu, kdy se chová jako kapacita nebo jako indukčnost (Obr. 1.2). Kapacitního stavu je docíleno, když jalová složka proudu předbíhá před napětím. Ve stavu, kdy bude jalová složka zpožděna za napětím, tak se poté chová generátor jako indukčnost. Regulace jalového výkonu přebuzením nebo odbuzením u synchronních generátorů je zajištěna budícím systémem. Budicí systém reguluje velikost napětí na svorkách a udržuje účinník. Zařazením měniče kmitočtu mezi generátor a elektrizační síť je možné docílit maximálního výkonu synchronních generátorů. Při dané rychlosti větru může motor poté pracovat s proměnnými otáčkami. [1]



Obr. 1.2 Vliv změny budícího proudu na charakter účinníku

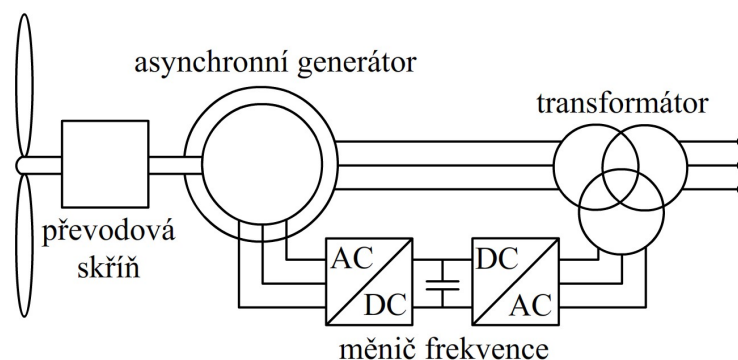
Nepřímí měnič kmitočtu je tvořen diodovým usměrňovačem, vyhlazovací tlumivkou ve stejnosměrném meziobvodu a tyristorovým střídačem. Měnič je možné provozovat dvěma různými způsoby. První způsob je takový, kdy regulátor buzení generátoru udržuje napětí generátoru úměrné otáčkám. V druhém případě je napětí nezávislé na otáčkách. Nevýhodou měniče je vznik harmonických. [1]

1.1.2 Asynchronní generátory

Asynchronní stroje se nejčastěji používají jako poháněcí motory, mohou ale také sloužit i jako generátory. Nevyžadují synchronizaci pro připojování. Asynchronní generátor ale ze sítě odebírá magnetizační proud a proudu úměrný jalový výkon, což přispívá ke zhoršení účinníku v energetické soustavě. Soustavou je také dáno napětí a kmitočet, s kterým pracuje generátor. Kompenzaci lze vytvořit paralelním připojením kondenzátorů tak, aby účinník neklesal pod hodnotu 0,95. [1]

V elektrárnách bývá nejčastěji jeden generátor, ale je možné také použít dva generátory v jedné větrné elektrárně. Při malých rychlostech je použit generátor malého výkonu. Takto je již při malých rychlostech větru dosahováno maximálních hodnot výkonu. Tímto je dodáván činný výkon již při malé rychlosti větru. Při vyšších rychlostech větru již není generátor malého výkonu zapotřebí a běží jen generátor velkého výkonu. [1]

Nejpoužívanějším typem asynchronních generátorů současnosti je technologie využívající dvojitého napájení (Obr. 1.3). Jedná se o systém s proměnnými otáčkami. Statorové vinutí je napojeno přímo do sítě a vinutí rotoru je napájeno přes měnič kmitočtu. Tento způsob provedení umožňuje do rotoru přivádět proud o vhodné amplitudě, frekvenci a fázového posuvu. Tato technologie dovoluje u asynchronních generátorů regulovat jalový výkon rotorovým proudem. [2]



Obr. 1.3 Asynchronní generátor s dvojitým napájením [2]

2 Elektrizační soustava

Elektrizační soustava je rozdělována do různých napěťových úrovní, rozdělení závisí na technickém provedení, a to především na vzdálenosti a velikosti přenášeného výkonu. Dalším aspektem je ekonomická náročnost daného provedení. Základními elementy soustavy jsou výroba, přenos, distribuce elektrické energie, spotřeba a mezi nimi se nachází elektrické stanice. [3, 4]

Tab. 2.1 Rozdělení napěťových hladin

Napěťová hladina	U (kV)	Typ soustavy
Nízké napětí	0,4/0,23	Distribuční
	0,50	
	0,69	
Vysoké napětí	3	
	5	
	6	
	10	
	22	
	35	
Velmi vysoké napětí	110	
	220	
Zvlášť vysoké napětí	400	

Napětí uvedená v tabulce jsou napětími jmenovitými, sdruženými. V České republice je soustava rozdělena na přenosovou a distribuční. Přenosová je zpravována společností ČEPS, a. s. a distribuční je rozdělena mezi tři provozovatele, ČEZ Distribuce, a. s., E.ON Distribuce, a. s. a PREdistribuce a. s.

- **Přenosová soustava**

Propojuje uzly výroby energie s uzly distribuce, pro optimální rozložení výkonů. Do této soustavy jsou připojovány výrobci energie o velkých výkonech, těmi jsou jaderné a tepelné elektrárny. Rozsah připojovaných výkonů je ve stovkách a více megawattů. Soustava je provozována jako okružní a propojuje se se zahraničními soustavami. [3]

- **Distribuční soustava**

Slouží pro přivedení elektrické energie ke spotřebitelům. Zdrojem energie je v dominantní míře přenosová soustava. Dalšími zdroji ale mohou být elektrárny malých výkonů. Těmito malými zdroji jsou především z obnovitelné energie, jakými jsou

fotovoltaické, vodní nebo právě větrné elektrárny. Na VVN a VN jako paprskové nebo průběžné, NN mohou být v případě husté sítě v mřížovém provedení. [4]

- **Délky vedení v České republice**

Délky vedení jsou převzaty z nejaktuálnější výroční zprávy energetického regulačního úřadu z roku 2015. V tabulce jsou shrnuty celkové délky vedení jednotlivých provozovatelů. Největší zastoupení mezi distributory tvoří především v České republice vedení od společnosti ČEZ Distribuce, a. s.

Tab. 2.2 Délky vedení v České republice [5]

Hladina	U (kV)	Délka venkovních vedení (km)	Délka kabelových vedení (km)
NN	0,4/0,23	64 239	85 935
VN	3	1	1
	5	0	24
	6	0	190
	10	139	1 584
	22	49 000	15 089
	35	9 781	1 145
VVN	110	14 111	96
	220	1 909	0
ZVN	400	3 614	0

3 Elektrické vedení

Elektrická vedení jsou realizována jako venkovní nebo kabelová. Volba použitého vedení je závislá na dispozici, kudy vede a na cenové relaci. Obě provedení mají své výhody a nevýhody, které je důležité zvážit, a ačkoliv dnes je převaha venkovního vedení, tak se vedení začíná přesouvat pod zem, z důvodů estetických a dispozičních. Kupříkladu u vyvedení výkonu větrných elektráren. [3]

3.1 Venkovní vedení

U venkovních vedení je důležité brát v potaz dimenzování pro dané terénní podmínky, kde je umístěno. Mechanická stránka vyžaduje výběr správných materiálů, rozložení stožárů a také znalost environmentálních podmínek. Venkovní vedení musí dodržovat minimální výšku nad zemí a dbát na správné natažení vodičů, aby nedocházelo k velkému tahu, ale ani k příliš malému. Používané venkovní vodiče jsou označovány jako lana AlFe, Pro co největší účinnost se usiluje o přenášení výkonu blízkému výkonu přirozenému. Nejsou vybaveny žádnou izolací, protože jako izolant slouží samotný okolní vzduch. [3]

- *Vedení ZVN a VVN*

Pro napěťovou hladinu 400 kV je využíváno trojsvazkové AlFe lano o průřezu až $3 \times 500 \text{ mm}^2$. Pro hladinu 220 kV se používají dvousvazky o průřezu $2 \times 210 \text{ mm}^2$ nebo samostatné AlFe o průměru až 450 mm^2 . Vodiče 110 kV mohou být rovněž realizovány jako dvousvazky o průřezu $2 \times 670 \text{ mm}^2$ nebo $2 \times 350 \text{ mm}^2$ nebo jako samostatná lana v rozmezí průřezů od 185 mm^2 až po 680 mm^2 . Použitím svazkových vodičů se snižují činné ztráty a indukčnost vedení. [3]

- *Vedení VN*

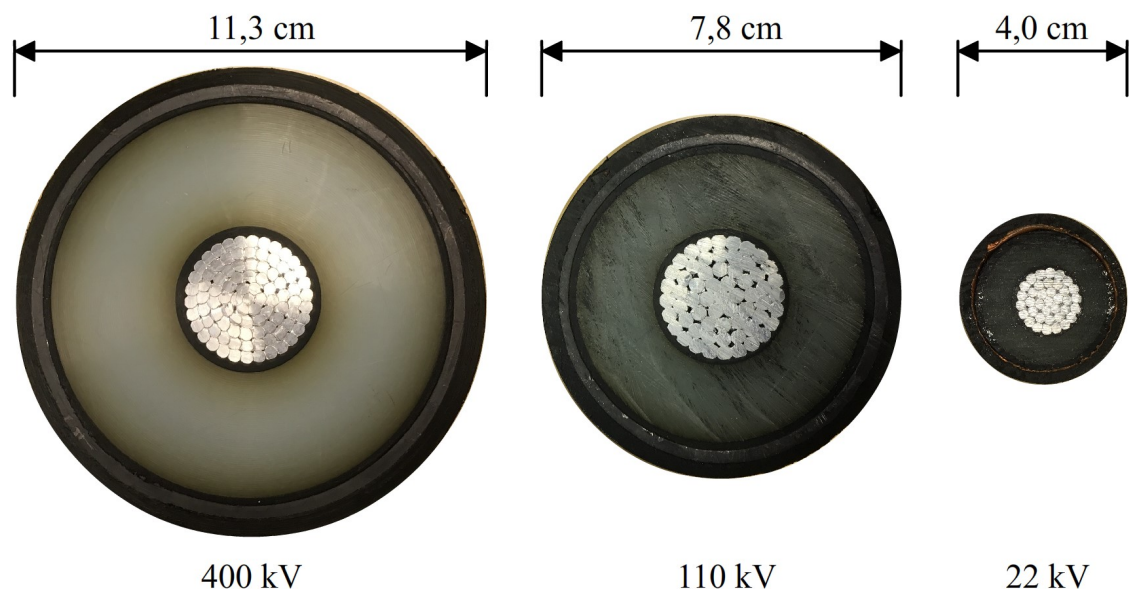
Na hladině VN se používají v různých případech soustavy jiné průřezy lan AlFe, V částech, kde není taková významnost z hlediska přenosu, vystačí lana $42/2 \text{ mm}^2$. Jinde, především u napájecích transformoven se používá průřezů $70/11 \text{ mm}^2$ nebo $110/22 \text{ mm}^2$. Vyskytuje se i použití lan AlFe s PVC izolací tam, kde hrozí výskyt častých přechodných poruch. Umísťovány do nezastavěných území, především na betonových stožárech, výjimečně dočasně na dřevěných. [3]

- **Vedení NN**

Jako venkovní vedení je pro tuto napěťovou hladinu velmi řídkce využíváné, a pokud již je využité, tak jenom v řídkce osídlených oblastech. Přenos je výrazně omezen úbytkem napětí.

3.2 Kabelová vedení

Kabely spadají do vnitřního vedení, kde se mimo kabelů nachází i holé vodiče, izolované vodiče a chráněné vodiče. Holé vodiče jsou používány v rozvodnách, jak název napovídá nemají žádnou izolaci. Izolované vodiče již izolaci mají, a to z gumy anebo PVC. Z několika izolovaných vodičů, které jsou obaleny pláštěm je tvořen chráněný vodič. [3]



Obr. 3.1 Porovnání velikostí vzorků kabelového vedení

Kabelová vedení se využívají v místech, kde je z enviromentálních, bezpečnostních anebo prostorových nemožné postavit venkovní vedení. Zejména jsou využívány v městských oblastech. Kabelové provedení vedení jsou dražší, ale výhoda tím získaná je nižší poruchovost. Kabelové vedení je ale velmi problematické z hlediska kapacitních nabíjecích proudů, které způsobují proudové zatěžování i ve stavu naprázdno. Dalším nežádoucím efektem je odběr jalové energie kapacitního charakteru v době nižšího odběru energie. Kapacitní nabíjecí proud způsobuje ztráty energie, jež jsou lineárně závislé na odporu a kvadraticky na proudovém zatížení. [6]

- **Vedení ZVN a VVN**

V současnosti se počet kabelových vedení navyšuje, především těch na napěťové hladině VN, ale v dnešní době, ani již to ve velkých městech a při přenosech velkých výkonů, není dostačující. Proto se používají kabelová vedení vyhovující hladinám VVN a ZVN. Tyto kabely jsou tvořeny polyetylenovou izolací a jsou prováděny výlučně jako jednožilové. Jádro je hliníkové nebo měděné. Větší průměry jader se vytvářejí z odizolovaných segmentů. Největší průměry jsou veliké až 1300 mm². Následuje polovodivá vrstva a teprve na té je polyetylén. Další vrstvou je znovu ta polovodivá, poté následuje kovový kryt, buďto olovený plášť anebo měděné stínění. Poslední vrstvou kabelu je vnější ochranný plášť z PVC. Značení kabelu 110 kV vypadá následovně 2XS(FL)2Y. [3]

- **Vedení VN**

Ve Skandinávských zemích je záměr nahradit dlouhá venkovní vedení VN kabelovými. Je to způsobeno především špatnou dostupností k některým místům vedení, kvůli velké členitosti terénu a náročnosti pohybu v něm. Používají se kabely jednožilové, označované jako AXEKVCE, CXEKVCE. Jejich izolace bývá ze zasíťovaného polyetylénu. [6]

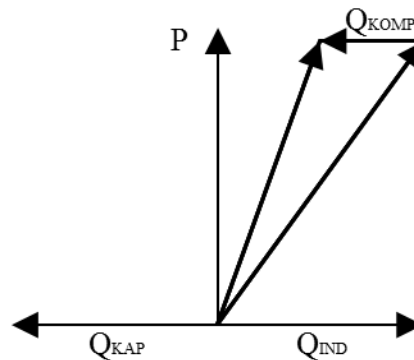
- **Vedení NN**

Slouží především jako přívod elektrické energie ke spotřebiteli, domácností. Veden NN je realizováno kabely AYKY a někdy se může vyskytnout i kabel značený CYKY.

4 Kompenzace a dekompenzace

Kompenzace se provádí pro to, aby bylo možné snížit hodnotu jalové složky proudu nebo také přímo úměrného jalového výkonu v určité části elektrizační soustavy. Ovšem je usilováno o to, aby jalová složka nebyla zcela odstraněna. Aby v točivých strojích bylo možné přeměnit činnou složku na práci, je nutné, aby napájecí soustava obsahovala nějakou část jalové složky, která je nezbytná pro vytvoření magnetického pole motoru. Výsledný přenášený výkon je požadován, aby byl co nejbližší hodnotě činného výkonu. Tento výkon se nazývá zdánlivý. Tím se zefektivňují technické důsledky z hlediska zbytečného nepředimenzování sítě, ale zároveň se tím snižují ekonomické důsledky. [7]

Pojem kompenzace hovoří o kompenzování jalové složky proudu nebo výkonu induktivního charakteru. V případě dekompenzace je však myšleno kompenzování jalové složky proudu nebo výkonu kapacitního charakteru. Poté dochází k dodávce jalového kapacitního výkonu, a to je výrazně peněžně penalizováno provozovateli distribuční soustavy. V obou případech se však snažíme docílit toho samého. Dodržování požadovaného účinníku $\cos \varphi$ v určitém bodě sítě. [8]



Obr. 4.1 Kompenzace podle zlepšení účinníku

Využívá se kompenzace, která je zapojována jak v sériovém, tak paralelním provozu. Sériová ale slouží především pro omezování zkratových proudů anebo pro zlepšování napěťových poměrů v síti. Pro kompenzaci nabíjecích kapacitních výkonů, nebo kompenzaci zemních kapacitních proudů a pro kompenzaci induktivního výkonu se používá zapojení paralelní. [4]

4.1 Kondenzátory

Kondenzátory připojované paralelně jsou především používány na napět'ových hladinách VN a NN. Kondenzátorové baterie jsou využívány na hladině VVN. Jsou zapojovány jako hvězda nebo trojúhelník na jednotlivé fáze soustavy. Na hladině NN se používá zapojení do trojúhelníka. Do hvězdy jsou zapojovány na hladině VN v provedení 1f nebo 3f. Proud kondenzátoru je přímo úměrný napětí, kmitočtu a kapacitě. Používaným materiálem dielektrika je polypropylénová fólie. Tam, kde se vyskytuje velké rušení, jsou kondenzátory dovybaveny filtračními tlumivkami nebo hradícími členy jakožto ochranným prvkem. Vliv kompenzace se projevuje v části soustavy mezi zdrojem a místem připojení kompenzačního zařízení, účinník spotřebiče zůstává i po kompenzaci nezměněn. U spotřebičů s proměnným zatížením je nebezpečí překompenzování. [4, 7]

- ***Individuální kompenzace***

Nejvýhodnější, z hlediska odlehčení vedení, omezení úbytku napětí, nejjednodušší, a tedy i nejspolehlivější. Každý spotřebič je vybaven vlastním kondenzátorem přímo na svorkách anebo v těsné blízkosti stroje. Tato metoda je ale především stavěna pro zařízení, které jsou dlouhodobě využívány. V jiném případě je nízké využití kondenzátorů a tím se zvyšují náklady na kompenzaci. [7]

- ***Skupinová kompenzace***

Umisťuje se na přípojnici, jenž přivádí energii ke skupině spotřebičů, které je nutné kompenzovat. Je důležité řídit kompenzační výkon kondenzátorů dle spotřebičů, jenž jsou v danou dobu vchodu. Proto bývají kondenzátory také rozdělovány do skupin. [7]

- ***Centrální kompenzace***

Kompenzace je připojována k hlavní vstupní rozvodně nebo rozvaděče průmyslového závodu. Vyžaduje nejmenší kompenzační výkon kondenzátoru oproti předchozím dvěma způsobům řešení. [7]

- ***Smíšená kompenzace***

4.2 Tlumivky

Tlumivka je relativně jednoduchý elektrický stroj. V silnoproudé elektrotechnice se používá ve velkém rozsahu výkonů a napětí. Nejmenší tlumivky jsou pro zařízení výkonové elektroniky v rámci kVAr až po stovky MVar u olejových tlumivek používaných pro dekompenzaci jalových výkonů kapacitního charakteru. Tlumivka akumuluje energii ve svém magnetickém poli a je možné energii i vhodně odebrat. Při paralelním zapojení slouží jako zdroj induktivního jalového výkonu. Tlumivky jsou tedy používány pro dodržování předepsaného účinníku, snižování proudového zatížení a snižování ztrát vznikajících na vedení. Paralelně zapojené tlumivky do sítě mají opačný smysl působení než kondenzátory, které slouží ke kompenzaci jalového výkonu induktivního charakteru, proto název dekompenzační. Tlumivky pro napěťové hladiny vyšších napětí jsou vyráběny jako olejové s feromagnetickým magnetickým obvodem. [9, 10]

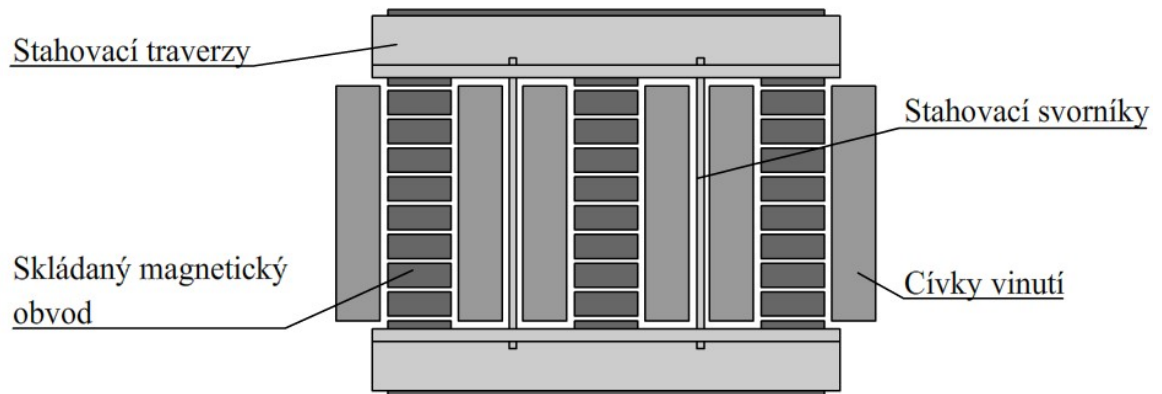
Pro správnou funkci je důležité používat dekompenzační tlumivky s nízkými ztrátami. Nejideálněji by se měly používat zařízení, které mají ztráty do 1 % ze jmenovitého jalového výkonu tlumivek, tím se docílí nízkých provozních nákladů na provoz.

Cívka tlumivky je umístěna na feromagnetickým jádru. Magnetický obvod je skládán z orientovaných plechů, jenž jsou provedeny válcováním za studena. Plechy jsou z hlediska ztrát uzpůsobeny frekvenci 50 Hz. Tlumivky jsou vyráběny jako jádrové nebo plášťové s jádry rozdělenými vzduchovými mezerami. Magnetický obvod s vinutím je umístěn v olejové nádobě s odvodem přebytečného tepla realizujícího chladicím ústrojím. Další variantou jsou tlumivky pouze v suchém provedení. U kompenzačních tlumivek vysokých výkonů se používá magnetického stínění. Magnetický obvod tvoří okolo cívky stínění. Magnetické pole vytvářené tlumivkou se poté udržuje uvnitř magnetického obvodu. Obvod je poté tvořen ze širokých, ale úzkých plechů, do nichž vstupuje magnetické pole rovnoběžně. Tlumivky takového provedení jsou v rámech, speciální stahovací konstrukce a mohou být i v trojfázovém provedení. [9]

Vyjma použití tlumivek pro kompenzaci se používá celá řada dalších variant tlumivek ne tak zcela odlišného technického provedení pro jiné účely, kterými mohou být tlumivky pro omezení proudů, pro uzemňující nulový vodič, tlumící, filtrační, zhášecí a atd.

4.2.1 Kompenzační tlumivky

Používané v soustavách vysokých napětích, kabelových a venkovních vedeních. Induktivní výkon kapacitního charakteru je způsoben vlivem vedení, kapacitami mezi vodiči a kapacitami proti zemi. Provozování takovéto soustavy je problematické z důvodů možnosti kolísání napětí, komplikací regulace výkonu v síti a ovlivňování celkové stability ES. [11]



Obr. 4.2 Ilustrační vyobrazení průřežu třífázovou tlumivkou [11]

Tlumivky se většinou vyrábějí jako třífázové a do sítě jsou napojovány v elektrických rozvodnách a transformovnách. Tlumivka je připojována přímo na elektrické vedení, další možností připojení je na terciální vinutí transformátoru nebo autotransformátoru. Terciální vinutí autotransformátoru, na které je možné připojit kompenzaci, je navrhováno pro napětí v rozmezí od 12 kV do 36 kV. Tlumivky se do napětí 121 kV vyrábějí jako vzduchové s celkovým třífázovým výkonem až 100 MVar. Nad 121 kV, ale i nižších napětí, se vyrábějí tlumivky olejové. Tlumivky o stovkách MVar jsou konstrukčně velice podobné velkým transformátorům s průchodkami na víku nádoby. Jádru tlumivky je tvořeno velkým počtem vzduchových mezer mezi skládanými plechy (Obr. 4.2). Mezery musí být konstruovány tak, aby byly pevné, odolávaly velkým působícím silám při provozu, a přesto nebyly moc hlučné. V případě, že je napěťová hladina provozována s účinně uzemněným uzlem, pak i tlumivka je uzemňována. Používají se i tlumivky stíněné jádrové konstrukce, jež mohou být provozovány s fázovými jednotkami vedle sebe nebo nad sebou. [11]



Obr. 4.3 Dekompenzační plynule laditelná tlumivka firmy EGE, spol. s.r.o.

U laditelných tlumivek Obr. 4.3 musí být možné naladit indukčnost tlumivky. Velikost indukčnosti musí mít nastavitelnou velikost indukčnosti pod zatížením. Konstrukce plynule laditelných dekompenzačních tlumivek vychází z technologie zhášecích tlumivek. V podstatě jsou tři takové tlumivky umístěné vedle sebe v jedné nádobě. Magnetický obvod je tvořen vzduchovými mezerami, ale tyto mezery jsou nastavitelné. Velikost vzduchové mezery se nastavuje pohonem. [11]

4.2.2 Spínané tlumivky

Technické řešení tlumivky je totožné s těmi, jež jsou určeny pro stálý provoz. Nutnost změny velikosti jalového výkonu je možné řešit skokovým připojováním kompenzačních tlumivek. Spínání kompenzačních tlumivek je ale problematické z hlediska proudových a

napětových přechodných dějů, jež připojování a odpojování k soustavě doprovázejí. Řešení takového připojování je provedeno provozními regulemi, při jejichž dodržování se zabráňuje negativním účinkům spínání. [11]

4.2.3 Statické kompenzátory jalového výkonu

V průmyslu a v dopravě vzniká provozem různých zařízení zatěžování sítě jalovým výkonem. V takovém případě je možné použít statické kompenzátory jalového výkonu. V sérii s tlumivkou je vřazen tyristorový spínací prvek. Spínací prvek dokáže měnit velikost induktivního jalového výkonu. [11]

Ke spínané dekompenzační tlumivce jsou přidávány kondenzátory. Kondenzátory dodávají kapacitní jalový výkon, ale slouží i jako LC filtry pro vyšší harmonické proudy, jež produkuje spínání tlumivky a zátěž. Filtry omezují negativní vlivy, které doprovázejí spínání. Dekompenzační tlumivky jsou zapojovány do trojúhelníku. Takovýto kompenzátor dokáže dodávat jalový výkon jak induktivního, tak i kapacitního charakteru s velkou možností přizpůsobení se požadavku na kompenzaci. [11]

4.3 Důsledky provozu se špatným účíníkem

Při nedodržení požadovaného účíníku dochází ke zvětšování zdánlivého výkonu, který je přenášen v elektrizační soustavě a na takovýto výkon nejsou prvky dimenzovány. Takovým nedodržením účíníku dochází ke zvýšení nákladů na transformátory, vedení atd. Velkou jalovou složkou proudu dochází ke snížení využití generátorů, jelikož dochází ke snížení buzení generátoru. Dalšími negativními účinky jsou zvyšování ztrát a tím snižování účinnosti přenosu elektrické energie. Dále se zvyšují úbytky napětí v síti. [12, 13]

5 Legislativa připojování obnovitelných zdrojů

Pro připojení obnovitelného zdroje v případě diplomové práce větrných elektráren do distribuční soustavy je potřeba splňovat požadavky jenž určují distributoři sami. V České republice jsou tři provozovatele ČEZ Distribuce, a. s., E.ON Distribuce, a. s. a PREdistribuce a. s. Pravidla provozování distribučních soustav, jež zpracují a schvaluje ho Energetický regulační úřad. Pravidla vycházejí ze zákona č. 211/2011 Sb., (energetického zákona) a dále z vyhlášky 16/2016 Sb. jež hovoří o podmínkách připojování k elektrizační soustavě. Příloha č. 4 PPDS stanovuje bližší pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy. Ustanovuje hlavní zásady pro připojování výroben elektrické energie do soustav na napěťových hladinách NN, VN a 110 kV. Příloha č. 4 PPDS zpracovává pravidla pro plánování, zřizování a provoz výroben elektrické energie, kterými mohou být vodní elektrárny, generátory poháněné tepelnými stroji, fotovoltaické elektrárny a také větrné elektrárny. [14]

5.1 Pravidla provozování

U větrných elektráren je při procesu přihlašovacího řízení nutné osvědčení a protokol k očekávaným zpětným vlivům, mezi které patří údaj o jmenovitém výkonu kolísání činného a jalového výkonu a dále meze pro řízení účinníku kapacitního a induktivního charakteru. Při posuzování žádosti o připojení výroby se vychází z hodnoty limitu připojitelného výkonu odběrného místa, jež vymezuje distributor společně s provozovatelem přenosové soustavy. Rezervovaný výkon pro větrné elektrárny je stanovován ze soudobostí 0,8, pokud smlouva nestanoví jinak. Dále se posuzuje volná distribuční kapacita na úrovni transformace 110 kV na VN. [14]

Zdroje, jež se připojují do DS musí být vybavovány systémy dálkového ovládní. Zdroje o výkonech vyšších 100 kVA musí mít spínač s oddělovací funkcí dálkového ovládní a signalizaci stavu. Zdroje mají být provozovány paralelně s distribuční sítí a ve vhodném předávacím místě. Kde a jak bude větrná farma připojena na síť rozhoduje PDS dle poměrů v síti, napěťové hladině, dovoleného připojovacího výkonu. Provoz elektrárny musí být tak optimalizován, aby nebyl provozován s rušivými účinky, neohrožoval napájení odběratelů. Zda jde elektrárnu připojit závisí na posouzení zpětných vlivů na síť, to je závislé na impedanci sítě ve společném napájecím bodě, druhu a způsobu provozu vlastní výroby.

Výrobnu lze připojit v podstatě třemi způsoby, přímo k distribuční soustavě, v odběrném místě a předávacím místě výroby. Výrobní od 100 kW začleněné do systému dálkového ovládání jsou schopné řídit spínače s oddělovací funkcí, omezovat dodávku činného výkonu, řídit i dodávaný jalový výkon a napětí. [14]

Důležitými pojmy pro veškeré zdroje je disponibilní výkon udávající hodnotu výkonu, který je možný dodávat bez omezování. Důležité je ale zvažování povětrnostních podmínek a technického stavu výroben. Dalším pojmem je jalový výkon, který by měl být prováděn tak, aby byl v rozsahu pro obě možné dodávky, a to jak induktivního charakteru, tak i kapacitního. Zdroj je řízen pouze v rozsahu, jenž stanovila smlouva. Činný výkon, regulován dle smluvní dohody. [14]

Připojené zdroje do sítě VN a 110 kV nesmí způsobit zvýšení napětí za normálních pracovních podmínek v přípojném místě o 2 % ve srovnání s napětím bez připojeného zdroje.

- **Požadavky na regulaci činného výkonu**

Zdroj připojován do sítě na hladinách VN a 110 kV musí umožňovat trvalý provoz za předpokladu dovoleného napěťového rozsahu $U_c - 10\%$ až $U_c + 10\%$. Elektrárna by měla být nápomocná při udržování napětí. Výrobní se synchronní jednotkou jsou schopny poskytovat podporu napětí při poruchách a změnách napětí. Výrobní s asynchronní jednotkou nedokáží podporovat napětí v těchto případech jako synchronní generátor. [14]

Zdroje musí být schopné přizpůsobovat činný výkon automaticky v závislosti na kmitočtu a podle poměrů v síti. Musí dále být schopny regulovat dle dispečinku anebo se, popřípadě odpojit. Zdroje, které se neodpojí, musí být schopné automaticky snižovat činný výkon s gradientem 40 % na Hz při překročení kmitočtu 50,2 Hz. [14]

Činný výkon musí být snižován při možném ohrožení bezpečného provozu systému, nebezpečí přetížení, nebezpečí vzniku ostrovního provozu, při ohrožení statické nebo dynamické stability, vzrůstu frekvence anebo při provádění údržby nebo nové stavby. Omezení výkonu musí být provedeno neprodleně v rámci jedné minuty. V přípojném místě může být požadavek na snížení dodávaného výkonu kupříkladu na hodnoty 60, 30 a 0 % a to bez odpojení výroby. [14]

- **Požadavky na regulaci jalového výkonu**

Pro výrobní umístění v sítích VN a 110 kV, při výkonu činné složky zdroje nad 10 % musí být účinník provozován za normálních podmínek v rozmezí od 0,90 kapacitních do 0,90 induktivních. V případě výrobců takzvané druhé kategorie by měl být účinník udržován v předávacím místě v rozmezí 0,95 kapacitních až 0,95 induktivních. Jalový výkon od 100 kVA musí být možné řídit. Využitelnost a rozsah na jalový výkon od distributora musí být k dispozici v rámci minut a libovolně. Od 100 kVA říditelné výrobní. [14]

Jalový výkon musí být regulován dle žádané hodnoty, při dodávání činného výkonu může být hodnota statická, nebo tedy dálkově upravována. Touto žádanou hodnotou může být hodnota jalového výkonu v závislosti na napětí, nebo v závislosti na činném výkonu, dále může být hodnota účinníku závislá na napětí, nebo na činném výkonu. [14]

Při zadávání požadavku on-line, musí být změna provedena do jedné minuty. Je zapotřebí zohledňovat zpětné vlivy na síť při řešení kompenzace a její regulace. Před zapnutím generátoru VTE nesmějí být připínány kompenzační kondenzátory a rovněž při vypínání musí být odpojovány současně s generátorem. [14]

Řízení jalového výkonu specifikují provozovatele lokálních distribučních sítí sami. Ve smyslu pravidel provozování takzvaného PPDS v příloze číslo 4. Distributorův požadavek na nastavení účinníku v předávacím místě je takovýto $\pm 0,95$, $\pm 0,97$, 1, kde plus značí induktivní charakter účinníku a mínus kapacitní charakter účinníku. [14]

5.2 Požadavky distributorů

Uváděné požadavky na výrobní v distribuční síti jejíž, provozovateli jsou ČEZ Distribuce, a. s. a E.ON Distribuce, a. s., jsou pouze stručné. Jedná se pouze o orientační informace a konkrétní podmínky jsou vždy ustanoveny smlouvou s daným výrobcem energie. Dané podmínky se mohou ve specifických případech i odlišovat od obecně stanovených podmínek.

Tab. 5.1 Požadavky ČEZ Distribuce, a. s. [15]

P (kW)	Požadavek
<30	Regulace není požadována
30-100	Omezení činného výkonu na 0 a 100 % pomocí HDO
>100	Omezení činného výkonu na 0, 30 ,60 a 100 % pomocí RTU Analogové měření P, Q, U a I v předávacím místě výroby Signalizace poruchových a provozních stavů výroby Měření meteorologických veličin

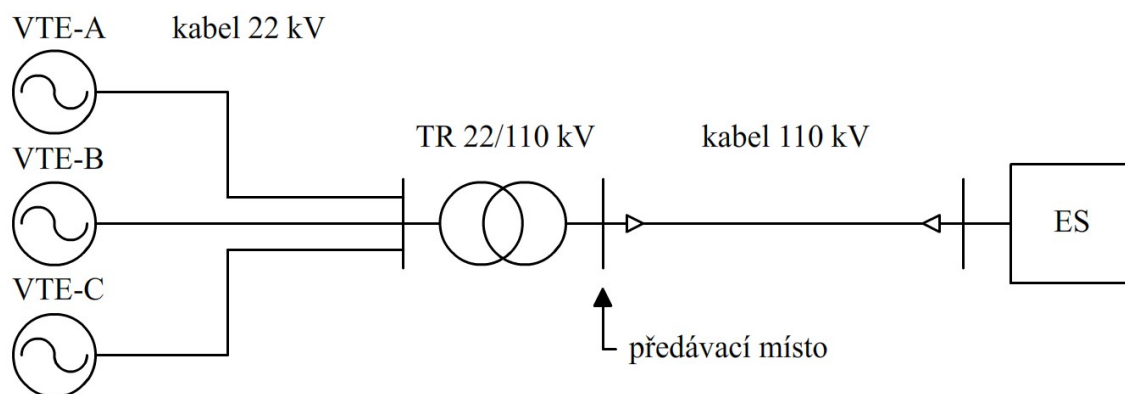
Tab. 5.2 Požadavky E.ON Distribuce, a. s. [15]

P (kW)	Požadavek
<250	Omezení činného výkonu na 0, 30 ,60 a 100 % pomocí HDO
250-630	Omezení činného výkonu na 0, 30 ,60 a 100 % pomocí RTU Příprava na regulace jalového výkonu na +0,95, +0,97, 1, -0,97, -0,95 pomocí RTU Analogové měření P, Q, U a I v předávacím místě výroby Signalizace poruchových a provozních stavů výroby
>630	Dálkové ovládání hlavního vypínače Omezení činného výkonu na 0, 30 ,60 a 100 % pomocí RTU Příprava na regulace jalového výkonu na +0,95, +0,97, 1, -0,97, -0,95 pomocí RTU Analogové měření P, Q a U v předávacím místě výroby Signalizace poruchových a provozních stavů výroby Příprava na měření meteorologických veličin

6 Případová studie

Pro účely diplomové práce bylo konzultantem ve firmě EGE, spol. s.r.o. vytvořeno zadání studie k vypracování řešící dekompenzaci nabíjecích kapacitních proudů vedení, dodržování účinníku v předávacím místě. Podobné studie jsou ve firmě prováděny, a i tato staví na reálných základech a poznacích konzultanta, jenž se s takovými zadáními potýká a mohla by tedy být brána jako podklad ke skutečné realizaci. Ovšem k realizaci studie pro rámec diplomové práce jsou provedeny zjednodušení.

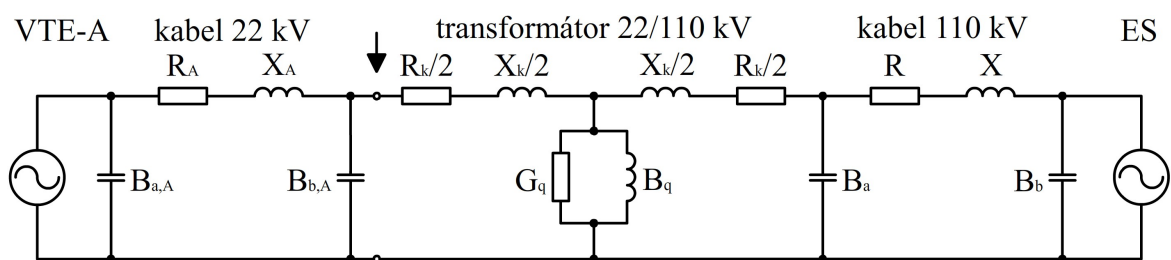
Ve studii zpracovávám připojení větrných elektráren do sítě. Připojují se tři větrné farmy, asynchronního typu od společnosti VESTAS značené VTE A, B, C v ilustračním schématu na Obr. 6.1. První VTE-A o výkonu 5x2 MW je připojen k transformátoru 22/110 kV kabelem 6 km dlouhým, druhá VTE-B o výkonu 3x2,5 MW připojena kabelem 16 km dlouhým a poslední farma VTE-C znovu o výkonu 3x2,5 MW připojena kabelem 9 km dlouhým. Celkový výkon připojovaný je 25 MW. Ve schématu následuje transformátor zvyšující napětí z 22 kV na 110 kV. Dále je umístěn z technologických a místních podmínek kabel 110 kV o délce 7,73 km. Teprve poté je připojen do elektrizační soustavy. Předávací místo bylo stanoveno konzultantem za transformátor 22/110 kV od tohoto místa které podléhá vedení určitému distributorovi. V předávacím místě je požadováno měření (tedy výpočet) parametrů činného, jalového výkonu, proudu, napětí, aby bylo možné v tomto místě udržovat požadovaný účinník a zamezit toku nabíjecích kapacitních proudů. Předpokládané místo připojení kompenzačního zařízení bylo určeno na napěťovou hladinu 22 kV před transformátor 22/110 kV.



Obr. 6.1 Schéma řešené studie

6.1 Náhradní schéma

Podlé úvodního zadání studie jsem vytvořil náhradní schéma obvodu Obr. 6.2, respektující parametry vedení, transformátoru. Schéma se ale lehce komplikuje tím, že obsahuje další dva zdroje, které nejsou zakreslené v tomto schématu, aby bylo schéma přehlednější. Tyto další dva zdroje VTE-B a C jsou víceméně totožné s úsekem schématu, jenž obsahuje zdroj VTE-A až po kabel 22kV, avšak jsou odlišné ve velikosti výkonu, s kterým je u každého zdroje počítáno, a dále jsou rozličné v délce kabelového vedení 22 kV. Tyto dva úseky jsou rovněž připojeny k místu, jenž je v Obr. 6.2 vyznačeno šipkami paralelně. Schéma tím získává jakousi trojrozměrnost při řešení. Do stejného místa se také v obvodu připojuje kompenzace, která je tvořena paralelním spojením reaktance a rezistance. Z tohoto schématu již lze realizovat rovnice, které převedou prvky na impedance a umožní vyjádřit proudy a napětí v jednotlivých úsecích obvodu a tím i výkony činné a jalové.



Obr. 6.2 Náhradní schéma řešené studie

Ovšem kvůli respektování několika zdrojů nelze řešit schéma jenom jako jednoduchý obvod, ale aby bylo možné výpočet zjednodušit, je použito metody substituce. Metoda substituce počítá pokaždé pouze obvod s jedním zdrojem, další zdroje jsou při tomto způsobu buď to rozpojený, v případě napěťového zdroje, anebo vyzkratovaný, v případě proudového zdroje.

Na pravé straně schématu je vyobrazen zdroj reprezentující elektrizační soustavu, jedná se o napěťový zdroj 110 kV. Na levé straně se nachází zdroje reprezentující větrné elektrárny, pro účely projektu jsou zamýšlené jako proudové zdroje. U zdroje větrné elektrárny je velikost dodávaného proudu do obvodu odvozena z velikosti dodávaného výkonu, který stoupá od 0 do 100 %. Pro zjednodušení jsem stanovil s konzultantem, že u všech třech větrných farem poroste simultánně.

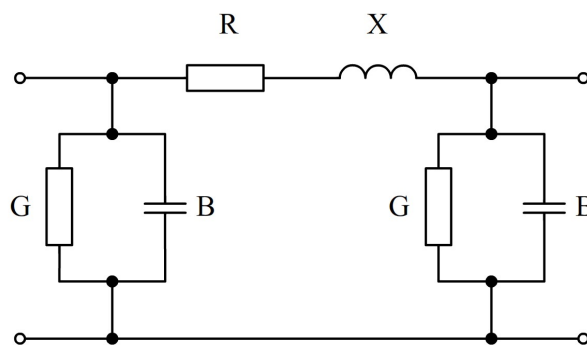
6.2 Výpočet

Pro výpočet jsem musel nejdříve stanovit parametry obvodu, který je složen z několika částí vedení a jednoho transformátoru, vychází ze skutečných tabulkových hodnot. Pro výpočet kabelového vedení je zanedbáván svod, jelikož je při výpočtu na napěťové hladině VVN a VN zanedbatelný.

Výpočty zde neobsahují dosazené hodnoty, jsou uváděny pouze fyzikální vztahy. Hodnoty, z kterých výpočty vychází, jsou uváděny v tabulkách.

6.2.1 Výpočet parametrů

- *Kabelové vedení 22 kV*



Obr. 6.3 Náhradní schéma vedení

Pro výpočet vedení jsem použil náhradní schéma ve tvaru pí článku uvedené na obrázku Obr. 6.3. Pro výpočet v diplomové práci jsem zanedbával svod vedení, není tedy ani uváděn v tabulkách použitých kabelů a vyobrazován ve schématech řešeného obvodu Obr. 6.2.

Tab. 6.1 Parametry kabelu 22 kV

Parametr	Velikost	Veličina
R_l	0,125	Ω/l
L_l	0,360	mH/l
C_l	0,440	$\mu F/l$

$$R = R_l l \quad (6.1)$$

$$X = 2\pi f L_l l \quad (6.2)$$

$$B = \frac{1}{2\pi f C_l l} \quad (6.3)$$

- **Kabelové vedení 110 kV**

Hodnoty tohoto kabelového vedení uvedené v tabulce Tab. 6.2 nejsou přímo dohledatelné, jelikož se již jedná o neobvyklou napěťovou hladinu 110 kV pro kabely málo obvyklou, výrobci tyto parametry málokdy uvádějí. Tyto hodnoty byly poskytnuty přímo pro účel studie, a to konzultantem. Hodnoty uvedené v tabulce se již nepřepočítávají na délku daného úseku, jelikož již byly takto zadány. Délka tohoto kabelového vedení činí 7,73 km.

Tab. 6.2 Parametry kabelu 110 kV

Parametr	Velikost	Veličina
R	0,360	Ω
X	0,804	Ω
B	669,4	μS

- **Transformátor 22/110 kV**

Tabulkové hodnoty pro transformátor 22/110 kV jsem převzal z publikace Elektrické stanice a vedení [3], kde jsou uvedeny hodnoty pro nejčastěji používané transformátory v české přenosové a distribuční soustavě. Vybral jsem s konzultantem transformátor pro výkon 25 MVA, ačkoliv výkon větrných elektráren je rovněž 25 MW. Protože ale větrné elektrárny fungují na výkon 100 % pouze okolo 2 až 5 % času nebude docházet k nadměrnému zatížení.

Tab. 6.3 Parametry transformátoru 25 MVA

Parametr	Velikost	Veličina
S_n	25	MVA
U_n	110	kV
ΔP_0	51	kW
ΔP_k	195	kW
u_k	9	%
i_o	2	%

Pokud uvažujeme výpočet při jmenovitém převodu, tak se fyzikální hodnoty stanovují pro primární stranu, avšak při použití fiktivního převodu je možné použít jak primární, tak sekundární stranu ke stanovení fyzikálních parametrů. [16]

Dále uvádím výsledné fyzikální vztahy, použité pro stanovení parametrů náhradního schématu transformátoru z jeho tabulkových hodnot. Schéma vztažené k označením použitým pro výpočet je uvedeno na obrázku Obr. 6.4. Výpočet jsem zpracoval dle publikace Elektroenergetika podklady pro cvičení [16].

$$Y_q = \frac{i_0[\%] S_n}{100 U_n^2} \quad (6.4)$$

- kde Y_q Admittance naprázdno (S)
 $i_0[\%]$ Proud naprázdno transformátorem (%)
 S_n Jmenovitý výkon transformátoru (VA)
 U_n Jmenovité napětí strany, na kterou jsou hodnoty počítány (V)

$$G_q = \frac{\Delta P_0}{U_n^2} \quad (6.5)$$

- kde G_q Konduktance naprázdno (S)
 ΔP_0 Ztráty naprázdno transformátoru (W)

$$B_q = \sqrt{Y_q^2 - G_q^2} \quad (6.6)$$

- kde B_q Susceptance naprázdno (S)

$$Z_k = \frac{u_k[\%] U_n^2}{100 S_n} \quad (6.7)$$

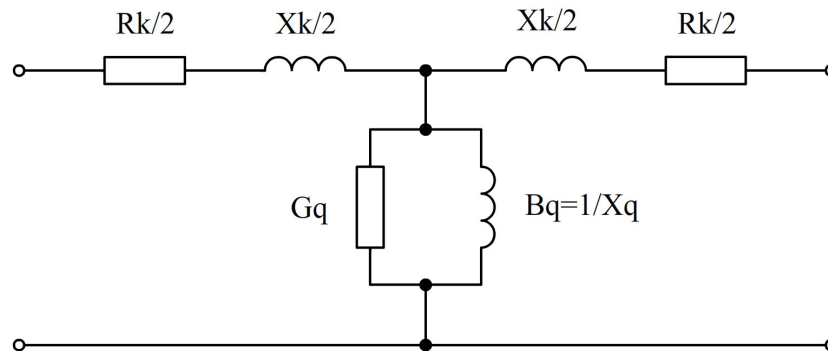
- kde Z_k Impedance nakrátko (Ω)
 $u_k[\%]$ Napětí nakrátko transformátorem (%)

$$R_k = \left(\frac{U_n}{S_n} \right)^2 \Delta P_k \quad (6.8)$$

- kde R_k Rezistance nakrátko transformátoru (Ω)
 ΔP_k Ztráty nakrátko transformátoru (W)

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} \quad (6.9)$$

- kde X_k Reaktance nakrátko transformátoru (Ω)



Obr. 6.4 Náhradní schéma transformátoru

6.2.2 Výpočet náhradního schéma

- *Převod na impedance*

Veškeré vypočítané parametry jsem převedl na impedance, s kterými jsem počítal v náhradním schématu řešené studie. Impedance kabelového vedení 22 kV je nutné převést na stejnou napěťovou hladinu (110 kV), s kterou jsem obvod řešil. Ve schématech Obr. 6.5 a Obr. 6.7 jsou tyto impedance vyobrazovány.

$$p_z = \frac{1}{\left(\frac{U_{22n}}{U_{110n}}\right)^2} \quad (6.10)$$

kde p_z Převod impedance (-)

U_{22n} Jmenovité napětí na straně provozovatele VTE (V)

U_{110n} Jmenovité napětí na straně distribuční soustavy (V)

$$\overline{Z_{Ca,A}} = B_{a,A} p_z \quad (6.11)$$

$$\overline{Z_{K,A}} = (R_A + X_A) p_z \quad (6.12)$$

$$\overline{Z_{Cb,A}} = B_{b,A} p_z \quad (6.13)$$

$$\overline{Z_{T1}} = \frac{R_k}{2} + \frac{X_k}{2} \quad (6.14)$$

$$\overline{R_{Fe}} = G_q \quad (6.15)$$

$$\overline{X_\mu} = B_q \quad (6.16)$$

$$\overline{Z_0} = \overline{R_{Fe}} // \overline{X_\mu} \quad (6.17)$$

$$\overline{Z_{T2}} = \frac{R_k}{2} + \frac{X_k}{2} \quad (6.18)$$

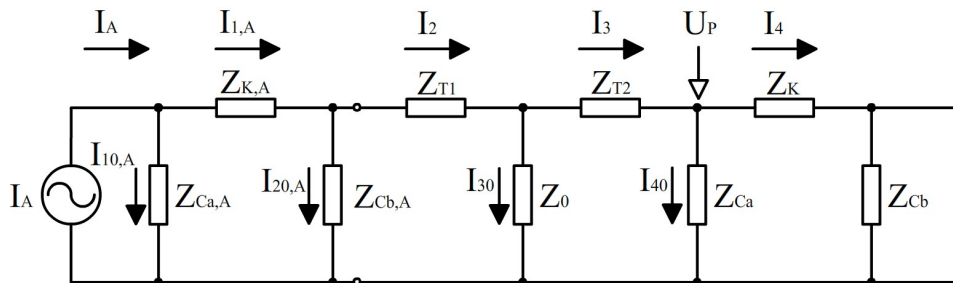
$$\overline{Z_{Ca}} = B_a \quad (6.19)$$

$$\overline{Z_K} = R + X \quad (6.20)$$

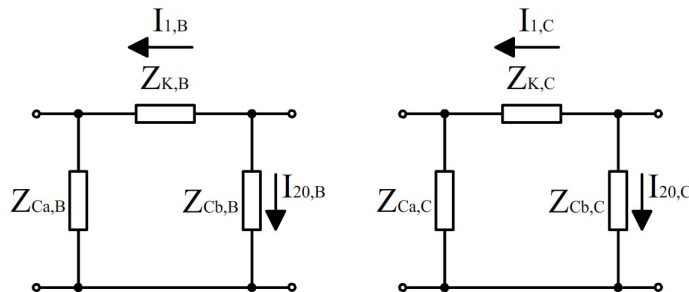
$$\overline{Z_{cb}} = B_b \tag{6.21}$$

• **Obvod s proudovým zdrojem**

Jako proudový zdroj je brána větrná farma označena VTE-A, která dodává do obvodu proud v závislosti na velikosti činného výkonu, jenž je zdrojem vyráběn. Zdroj simulující síťové napětí je nyní nahrazen zkratem. V řešení jsou ale také ukryty další dva zdroje proudu VTE-B a C, tyto proudové zdroje jsou v tomto okamžiku nahrazeny rozpojením. Proud takto vtéká i do těchto větví. Tento výpočet jsem opakovat obdobně pro další dva zdroje větrných elektráren VTE-B a C.



Obr. 6.5 Náhradní schéma s proudovým zdrojem



Obr. 6.6 Schémata dvou větví od dalších zdrojů

Proud dodávaný zdrojem se vypočte dle následujících vztahů. Pro první zdroj jsem počítal nejvýše s výkonem 10 MW při stoprocentním využití. Při zamýšleném výpočtu v komplexních číslech je hodnota vypočteného proudu rovna reálné hodnotě komplexního čísla, imaginární hodnota je závislá na velikosti účinníku, s kterým elektrárna pracuje. Pro zjednodušení výpočtu bylo určeno, že při změně v rozmezí účinníku $\pm 0,8$ se nebude měnit velikost reálné složky proudu. Proudů jsem dále přepočtl na napěťovou hladinu 110 kV, aby byly výpočty vztaženy k místu předání.

$$p_I = \frac{U_{22n}}{U_{110n}} \quad (6.22)$$

kde p_I Převod proudu (-)

$$I_a = \frac{P_A}{3U_{22f}} \quad (6.23)$$

kde I_A Proud dodávaný větrnou elektrárnou (A)

P_A Výkon větrné elektrárny (W)

U_{22f} Fázové napětí, na kterém je umístěna elektrárna (V)

$$I_{A\check{c}} = I_a \quad (6.24)$$

kde $I_{A\check{c}}$ Činná složka proudu (A)

$$I_{Aj} = \sqrt{\left(\frac{I_{A\check{c}}}{\cos \varphi_{VTE}}\right)^2 - I_{A\check{c}}^2} \quad (6.25)$$

kde I_{Aj} Jalová složka proudu (A)

$\cos \varphi_{VTE}$ Účinitík větrné elektrárny (-)

$$\overline{I_A} = I_{A\check{c}} + I_{Aj} \quad (6.26)$$

Následovně jsem provedl postupnou transfiguraci obvodu, tak abych dospěl k obvodu, z kterého jsem zpětným postupem určil jednotlivé proudy protékajícími všemi větvemi obvodu.

$$\overline{Z_1} = \overline{Z_K} // \overline{Z_{Ca}} \quad (6.27)$$

$$\overline{Z_2} = \overline{Z_1} + \overline{Z_{T2}} \quad (6.28)$$

$$\overline{Z_3} = \overline{Z_2} // \overline{Z_0} \quad (6.29)$$

$$\overline{Z_4} = \overline{Z_3} + \overline{Z_{T1}} \quad (6.30)$$

Do místa před transformátorem na hladině 22 kV jsou připojeny další dvě větve, které je nutné započíst.

$$\overline{Z_{B1}} = \overline{Z_{Ca,B}} + \overline{Z_{K,B}} \quad (6.31)$$

$$\overline{Z}_{B2} = \overline{Z}_{B1} // \overline{Z}_{Cb,B} \quad (6.32)$$

$$\overline{Z}_{C1} = \overline{Z}_{Ca,C} + \overline{Z}_{K,C} \quad (6.33)$$

$$\overline{Z}_{C2} = \overline{Z}_{C1} // \overline{Z}_{Cb,C} \quad (6.34)$$

$$\overline{Z}_{BC} = \overline{Z}_{B2} // \overline{Z}_{C2} \quad (6.35)$$

Pokud je počítáno s tlumivkou je také nutné do místa před transformátorem na straně 22 kV připočítat její paralelní zapojení. Velikost tlumivky jsem vypočetl dle požadavku na velikost kompenzace. Ztráty tlumivky jsem vypočetl z velikosti kompenzačního výkonu a tvoří v tomto výpočtu 0,7 % tohoto výkonu. Reaktance a rezistor je zapojena paralelně.

$$X_{tlum} = \frac{U_{110n}^2}{Q_{tlum}} \quad (6.36)$$

kde X_{tlum} Reaktance tlumivky (Ω)
 Q_{tlum} Kompenzační výkon (VAr)

$$P_{tlum} = Q_{tlum} \frac{0,7}{100} \quad (6.37)$$

kde P_{tlum} Ztráty tlumivky (W)

$$R_{tlum} = \frac{U_{110n}^2}{P_{tlum}} \quad (6.38)$$

kde R_{tlum} Rezistance vyjadřující ztráty tlumivky (Ω)

$$\overline{Z}_{tlum} = X_{tlum} // R_{tlum} \quad (6.39)$$

$$\overline{Z}_{BC} = \overline{Z}_{B2} // \overline{Z}_{C2} // \overline{Z}_{tlum} \quad (6.40)$$

Další zjednodušení je pro zapojení bez a s kompenzací znovu společné.

$$\overline{Z}_5 = \overline{Z}_{BC} // \overline{Z}_4 \quad (6.41)$$

$$\overline{Z}_6 = \overline{Z}_5 // \overline{Z}_{Cb,A} \quad (6.42)$$

$$\overline{Z}_7 = \overline{Z}_6 + \overline{Z}_{K,A} \quad (6.43)$$

$$\overline{Z}_8 = \overline{Z}_7 // \overline{Z}_{Ca,A} \quad (6.44)$$

Použitím děliče proudu, rozdělujícího proud nepřímo úměrně velikosti impedancí bylo možné získat postupně požadované hodnoty.

$$\overline{I}_{1,A} = \overline{I}_A \frac{\overline{Z}_{Ca,A}}{\overline{Z}_{Ca,A} + \overline{Z}_7} \quad (6.45)$$

$$\overline{I}_2 = \overline{I}_{1,A} \frac{\overline{Z}_6}{\overline{Z}_6 + \overline{Z}_4} \quad (6.46)$$

$$\overline{I}_3 = \overline{I}_2 \frac{\overline{Z}_0}{\overline{Z}_0 + \overline{Z}_2} \quad (6.47)$$

$$\overline{I}_4 = \overline{I}_3 \frac{\overline{Z}_{Ca}}{\overline{Z}_{Ca} + \overline{Z}_K} \quad (6.48)$$

Pro výpočet dalších proudů je nutné provést řadu mezi výpočtů a rozdělit výpočet na ten respektující obvod bez kompenzace a na respektující kompenzaci. Vypočítávají se proudy, které procházejí rezistory, aby bylo možné zjistit také velikost ztrát.

$$\overline{I}_0 = \overline{I}_2 \frac{\overline{Z}_2}{\overline{Z}_2 + \overline{Z}_0} \quad (6.49)$$

$$\overline{I}_{Fe} = \overline{I}_0 \frac{\overline{X}_\mu}{\overline{X}_\mu + \overline{R}_{Fe}} \quad (6.50)$$

Nejdříve uvádím výpočet pro obvod bez kompenzace.

$$\overline{Z}_{pom1} = \overline{Z}_{BC} // \overline{Z}_{Cb,A} \quad (6.51)$$

$$\overline{I}_{20} = \overline{I}_{1,A} \frac{\overline{Z}_4}{\overline{Z}_4 + \overline{Z}_{pom1}} \quad (6.52)$$

$$\overline{I}_{BC} = \overline{I}_{20} \frac{\overline{Z}_{Cb,A}}{\overline{Z}_{Cb,A} + \overline{Z}_{BC}} \quad (6.53)$$

$$\overline{I}_B = \overline{I}_{BC} \frac{\overline{Z}_{C2}}{\overline{Z}_{C2} + \overline{Z}_{B2}} \quad (6.54)$$

$$\overline{I_{1,B}} = \overline{I_B} \frac{\overline{Z_{Cb,B}}}{\overline{Z_{Cb,B}} + \overline{Z_{B1}}} \quad (6.55)$$

$$\overline{I_C} = \overline{I_{BC}} \frac{\overline{Z_{B2}}}{\overline{Z_{B2}} + \overline{Z_{C2}}} \quad (6.56)$$

$$\overline{I_{1,C}} = \overline{I_B} \frac{\overline{Z_{Cb,C}}}{\overline{Z_{Cb,C}} + \overline{Z_{C1}}} \quad (6.57)$$

Nyní výpočet pro získání proudů ve stejných částech obvodu ale respektující připojenou kompenzaci.

$$\overline{Z_{pom1}} = \overline{Z_{BC}} // \overline{Z_{tlum}} // \overline{Z_{Cb,A}} \quad (6.58)$$

$$\overline{I_{20}} = \overline{I_{1,A}} \frac{\overline{Z_4}}{\overline{Z_4} + \overline{Z_{pom1}}} \quad (6.59)$$

$$\overline{Z_{pom2}} = \overline{Z_{BC}} // \overline{Z_{Cb,A}} \quad (6.60)$$

$$\overline{I_{tlum}} = \overline{I_{20}} \frac{\overline{Z_{pom2}}}{\overline{Z_{pom2}} + \overline{Z_{tlum}}} \quad (6.61)$$

$$\overline{I_{Rtlum}} = \overline{I_3} \frac{\overline{X_{tlum}}}{\overline{X_{tlum}} + \overline{R_{tlum}}} \quad (6.62)$$

$$\overline{Z_{pom3}} = \overline{Z_{tlum}} // \overline{Z_{Cb,A}} \quad (6.63)$$

$$\overline{I_{BC}} = \overline{I_{20}} \frac{\overline{Z_{pom3}}}{\overline{Z_{pom3}} + \overline{Z_{BC}}} \quad (6.64)$$

$$\overline{I_B} = \overline{I_{BC}} \frac{\overline{Z_{C2}}}{\overline{Z_{C2}} + \overline{Z_{B2}}} \quad (6.65)$$

$$\overline{I_{1,B}} = \overline{I_B} \frac{\overline{Z_{Cb,B}}}{\overline{Z_{Cb,B}} + \overline{Z_{B1}}} \quad (6.66)$$

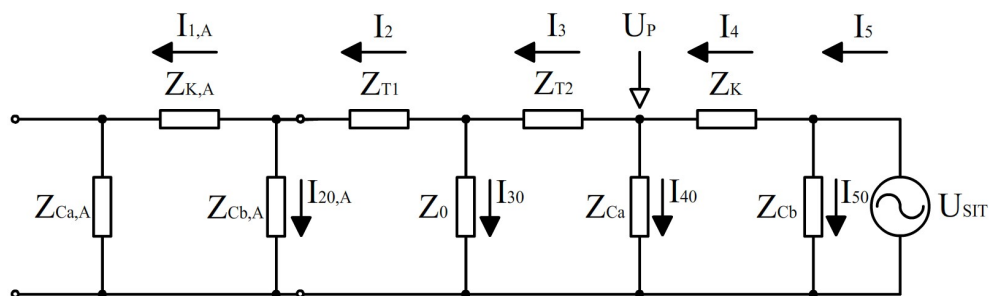
$$\overline{I_C} = \overline{I_{BC}} \frac{\overline{Z_{B2}}}{\overline{Z_{B2}} + \overline{Z_{C2}}} \quad (6.67)$$

$$\overline{I_{1,C}} = \overline{I_B} \frac{\overline{Z_{Cb,C}}}{\overline{Z_{Cb,C}} + \overline{Z_{C1}}} \quad (6.68)$$

- **Obvod s napětovým zdrojem**

Napětový zdroj dodává do obvodu stálé napětí 110 kV, veškeré ostatní proudové zdroje jsou v tomto obvodu momentálně nahrazeny rozpojenými svorkami. Takto samostatně se ve

výpočtu chová obvod bez dodávání výkonu z větrných elektráren. Při nezatíženém vedení dochází tedy k Ferrantioho jevu.



Obr. 6.7 Náhradní schéma s napěťovým zdrojem

Nyní probíhá transfigurace obvodu z levé strany směrem k pravé. Jsou zde vůči sobě paralelně tři vedení různých délek, zakončené před transformátorem.

$$\overline{Z}_{A1} = \overline{Z}_{Ca,A} + \overline{Z}_{K,A} \quad (6.69)$$

$$\overline{Z}_{A2} = \overline{Z}_1 // \overline{Z}_{Cb,A} \quad (6.70)$$

$$\overline{Z}_{B1} = \overline{Z}_{Ca,B} + \overline{Z}_{K,B} \quad (6.71)$$

$$\overline{Z}_{B2} = \overline{Z}_{B1} // \overline{Z}_{Cb,B} \quad (6.72)$$

$$\overline{Z}_{C1} = \overline{Z}_{Ca,C} + \overline{Z}_{K,C} \quad (6.73)$$

$$\overline{Z}_{C2} = \overline{Z}_{C1} // \overline{Z}_{Cb,C} \quad (6.74)$$

$$\overline{Z}_1 = \overline{Z}_{A2} // \overline{Z}_{B2} // \overline{Z}_{C2} \quad (6.75)$$

Pokud je počítáno s kompenzací, je nutné také paralelně připočítávat impedanci tlumivky o požadované velikosti. Výpočet (6.39) impedance kompenzace je uveden na předešlých stránkách.

$$\overline{Z}_1 = \overline{Z}_{A2} // \overline{Z}_{B2} // \overline{Z}_{C2} // \overline{Z}_{tlum} \quad (6.76)$$

Dále pokračuje transfigurace v obou případech totožně, je však důležité dosazovat správnou impedanci Z_1 pro žádaný druh analýzy obvodu.

$$\overline{Z}_2 = \overline{Z}_1 + \overline{Z}_{T1} \quad (6.77)$$

$$\overline{Z}_3 = \overline{Z}_2 // \overline{Z}_0 \quad (6.78)$$

$$\overline{Z}_4 = \overline{Z}_3 + \overline{Z}_{T2} \quad (6.79)$$

$$\overline{Z}_5 = \overline{Z}_4 // \overline{Z}_{Ca} \quad (6.80)$$

$$\overline{Z}_6 = \overline{Z}_5 + \overline{Z}_K \quad (6.81)$$

$$\overline{Z}_7 = \overline{Z}_6 // \overline{Z}_{Cb} \quad (6.82)$$

Nyní je již možné vypočítat proud, který vtéká do obvodu a jak je rozdělován na jednotlivých částech obvodu. Proudů jsou označovány v obráceném pořadí, aby bylo zřejmé propojení s obvodem s proudovými zdroji.

$$U_{110f} = \frac{U_{110n}}{\sqrt{3}} \quad (6.83)$$

$$\overline{U}_{PM} = \overline{U}_{110f} \frac{\overline{Z}_5}{\overline{Z}_5 + \overline{Z}_K} \quad (6.84)$$

$$\overline{I}_5 = \frac{\overline{U}_{110f}}{\overline{Z}_7} \quad (6.85)$$

$$\overline{I}_4 = \overline{I}_5 \frac{\overline{Z}_{Cb}}{\overline{Z}_{Cb} + \overline{Z}_6} \quad (6.86)$$

$$\overline{I}_3 = \overline{I}_4 \frac{\overline{Z}_{Ca}}{\overline{Z}_{Ca} + \overline{Z}_4} \quad (6.87)$$

$$\overline{I}_2 = \overline{I}_3 \frac{\overline{Z}_0}{\overline{Z}_0 + \overline{Z}_2} \quad (6.88)$$

Pro výpočet dalších proudů jsem znovu prováděl mezi výpočty, aby bylo možné tyto proudy sečíst s hodnotami z minulých řešených obvodů a dospět k výsledku.

$$\overline{I}_0 = \overline{I}_3 \frac{\overline{Z}_2}{\overline{Z}_2 + \overline{Z}_0} \quad (6.89)$$

$$\overline{I}_{Fe} = \overline{I}_0 \frac{\overline{X}_\mu}{\overline{X}_\mu + R_{Fe}} \quad (6.90)$$

Nejdříve je uváděn výpočet pro obvod bez připočtené kompenzace.

$$\overline{Z}_{BC} = \overline{Z}_{B2} // \overline{Z}_{C2} \quad (6.91)$$

$$\overline{I}_A = \overline{I}_2 \frac{\overline{Z}_{BC}}{\overline{Z}_{BC} + \overline{Z}_{A2}} \quad (6.92)$$

$$\overline{I_{1,A}} = \overline{I_A} \frac{\overline{Z_{Ca,A}}}{\overline{Z_{Ca,A}} + \overline{Z_7}} \quad (6.93)$$

$$\overline{Z_{AC}} = \overline{Z_{A2}} // \overline{Z_{C2}} \quad (6.94)$$

$$\overline{I_B} = \overline{I_2} \frac{\overline{Z_{AC}}}{\overline{Z_{AC}} + \overline{Z_{B2}}} \quad (6.95)$$

$$\overline{I_{1,B}} = \overline{I_B} \frac{\overline{Z_{Cb,B}}}{\overline{Z_{Cb,B}} + \overline{Z_{B1}}} \quad (6.96)$$

$$\overline{Z_{AB}} = \overline{Z_{A2}} // \overline{Z_{B2}} \quad (6.97)$$

$$\overline{I_C} = \overline{I_2} \frac{\overline{Z_{AB}}}{\overline{Z_{AB}} + \overline{Z_{C2}}} \quad (6.98)$$

$$\overline{I_{1,C}} = \overline{I_B} \frac{\overline{Z_{Cb,C}}}{\overline{Z_{Cb,C}} + \overline{Z_{C1}}} \quad (6.99)$$

Nyní výpočet pro získání proudů ve stejných částech obvodu ale respektující připojenou kompenzaci.

$$\overline{I_{tlum}} = \overline{I_{20}} \frac{\overline{Z_1}}{\overline{Z_1} + \overline{Z_{tlum}}} \quad (6.100)$$

$$\overline{I_{Rtlum}} = \overline{I_3} \frac{\overline{X_{tlum}}}{\overline{X_{tlum}} + \overline{R_{tlum}}} \quad (6.101)$$

$$\overline{Z_{BC}} = \overline{Z_{B2}} // \overline{Z_{C2}} // \overline{Z_{tlum}} \quad (6.102)$$

$$\overline{I_A} = \overline{I_2} \frac{\overline{Z_{BC}}}{\overline{Z_{BC}} + \overline{Z_{A2}}} \quad (6.103)$$

$$\overline{I_{1,A}} = \overline{I_A} \frac{\overline{Z_{Ca,A}}}{\overline{Z_{Ca,A}} + \overline{Z_7}} \quad (6.104)$$

$$\overline{Z_{AC}} = \overline{Z_{A2}} // \overline{Z_{C2}} // \overline{Z_{tlum}} \quad (6.105)$$

$$\overline{I_B} = \overline{I_2} \frac{\overline{Z_{AC}}}{\overline{Z_{AC}} + \overline{Z_{B2}}} \quad (6.106)$$

$$\overline{I_{1,B}} = \overline{I_B} \frac{\overline{Z_{Cb,B}}}{\overline{Z_{Cb,B}} + \overline{Z_{B1}}} \quad (6.107)$$

$$\overline{Z_{AB}} = \overline{Z_{A2}} // \overline{Z_{B2}} // \overline{Z_{tlum}} \quad (6.108)$$

$$\overline{I_C} = \overline{I_2} \frac{\overline{Z_{AB}}}{\overline{Z_{AB}} + \overline{Z_{C2}}} \quad (6.109)$$

$$\overline{I_{1,C}} = \overline{I_B} \frac{\overline{Z_{Cb,C}}}{\overline{Z_{Cb,C}} + \overline{Z_{C1}}} \quad (6.110)$$

- **Výpočet výstupních hodnot**

Jednotlivé proudy a napětí je po substituci nutné sečíst nebo odečíst ve smyslu správné orientace. Pro velký počet jsou veličiny uvedeny v následující tabulce, z které je názorné, jestli bude daná hodnota přičtena nebo odečtena pro daný řešený obvod. Horní část tabulky popisuje, s kterým zdrojem bylo počítáno a v levé straně jsou vypsány počítané veličiny.

Tab. 6.4 Souhrn příspěvků ze řešení substituce

Parametr	I _A	I _B	I _C	U _{110f}
U _{PM}	+	+	+	+
I _{1,A}	+	-	-	-
I _{1,B}	-	+	-	-
I _{1,B}	-	-	+	-
I ₂	+	+	+	-
I ₃	+	+	+	-
I ₄	+	+	+	-
I _{Fe}	+	+	+	+
I _{Rtlum}	+	+	+	+

V předávacím místě je potřebná znalost výkonových poměrů, ty jsou počítány dle následujících vztahů.

$$\overline{S_{PM}} = 3\overline{U_{PM}}\overline{I_4} \quad (6.111)$$

kde S_{PM} Zdánlivý výkon v předávacím místě (VA)

$$P_{PM} = \operatorname{Re}\{\overline{S_{PM}}\} \quad (6.112)$$

kde P_{PM} Činný výkon v předávacím místě (W)

$$Q_{PM} = \operatorname{Im}\{\overline{S_{PM}}\} \quad (6.113)$$

kde Q_{PM} Jalový výkon v předávacím místě (VAr)

$$\cos \varphi_{PM} = \frac{P_{PM}}{S_{PM}} \quad (6.114)$$

kde $\cos \varphi_{PM}$ Účinník v předávacím místě (-)

Velikost činné a jalové složky proudu lze vyjádřit snadno z komplexních čísel, v kterých je výpočet prováděn.

$$I_{PM\epsilon} = \operatorname{Re}\{\overline{I_4}\} \quad (6.115)$$

kde $I_{PM\epsilon}$ Činná složka proudu v předávacím místě (A)

zvýší výkon i u dalších zdrojů. Výpočet řeší zvyšování výkonu po 5 % do plného výkonu 25 MW. Výstupními sledovanými hodnotami jsou proudy, výkony ve veškerých částech obvodu, účinník a napětí v předávacím místě. Jednou ze vstupních hodnot, jimiž je možné měnit hodnoty v předávacím místě je účinník, s kterým pracuje zdroj větrné elektrárny. Účinník zdroje je možné regulovat v rozmezí +0,8 až -0,8, to však neřeší zcela omezení nabíjecího kapacitního výkonu. Další možností je tedy již připojení kompenzace, trojfázové tlumivky fixní nebo proměnlivé na danou výkonovou hladinu chodu větrné elektrárny, kde je zapotřebí, protože dekompenzace nemusí být nutná v celém rozsahu chodu. Připojení kompenzace a její velikost kompenzačního výkonu mění poměry ve schématu, změny samozřejmě také způsobují ztráty tlumivky, které skutečná tlumivka má. Tlumivky je možné navrhovat s velmi malými ztrátami, ale to se projevuje na jejich ceně. Procentní ztráty tlumivky je také tedy možné nastavit. Laditelné tlumivky umožňují provést dekompenzaci podle požadované hodnoty, kterou je nutné kompenzovat na dané hladině.

Vstupní hodnoty je potřeba ručně nakonfigurovat a poté nechat provést výpočet tlačítkem calculate (aktivuje se makro uvedené v příloze D.1). Vypočtené hodnoty jsou čitelné z grafů. Po docílení ideálních výstupních dat je možné výpočet nechat uložit tlačítkem save (aktivuje se makro uvedené v příloze D.2) a začít pracovat na analýze další varianty kompenzace.

7 Návrh kompenzace

Po analýze obvodu, bez připojené tlumivky, jsem mohl rozhodnout, jaké velikosti kompenzace by bylo vhodné vyhodnotit. Ve studii jsem uvažoval analýzu tlumivek jak s fixní kompenzační hodnotou, tak i tlumivek, které se dají plynule nastavovat, a to v rozsahu od 10 % do 100 %. V této kapitole jsem uvedl grafické výstupy výpočtů z předešlé kapitoly, pro velký obsah vypočtených dat uvádím v této kapitole tři zkoumané varianty, další řešené varianty jsem uvedl v příloze diplomové práce. V práci jsem analyzoval následující typy grafů, které jsou výstupem vypočtených hodnot.

- ***Účinník v závislosti na výkonu VTE***

V grafu je vyobrazován účinník v předávacím místě a zároveň účinník, s kterým pracují větrné elektrárny, aby bylo možné porovnat, kdy dochází k regulaci účinníku u elektráren pro docílení požadavku v předávacím místě.

- ***Výkony v závislosti na výkonu VTE***

V grafu jsou vyobrazeny výkonové poměry v předávacím místě, jaké velikosti mají výkony pro dosažení účinníku a ovlivňování zdánlivého výkonu, nabíjecím kapacitním.

- ***Ztráty v závislosti na výkonu VTE***

Graf popisuje exponenciální růst ztrát na straně provozovatele větrných elektráren, tedy na vedení 22 kV a transformátoru před předávacím místě.

- ***Proudy v závislosti na výkonu VTE***

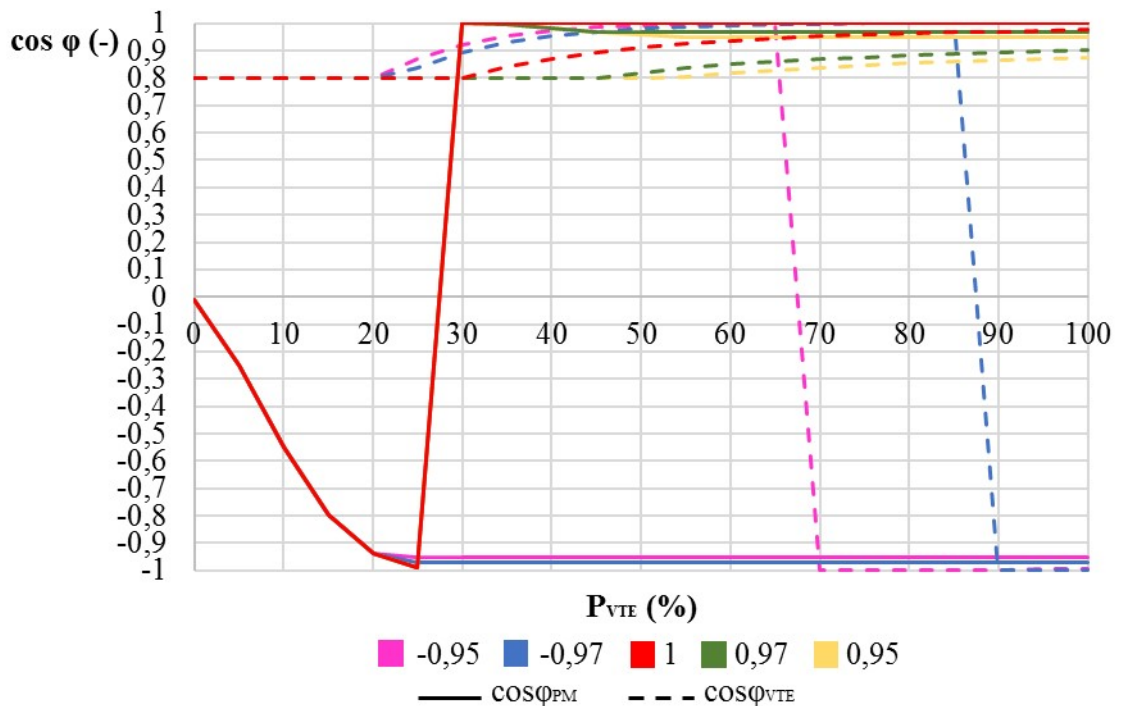
Podobný grafu analyzující výkonové poměry, pro znázornění velikosti proudů protékajících předávacím místě.

- ***Napětí v závislosti na výkonu VTE***

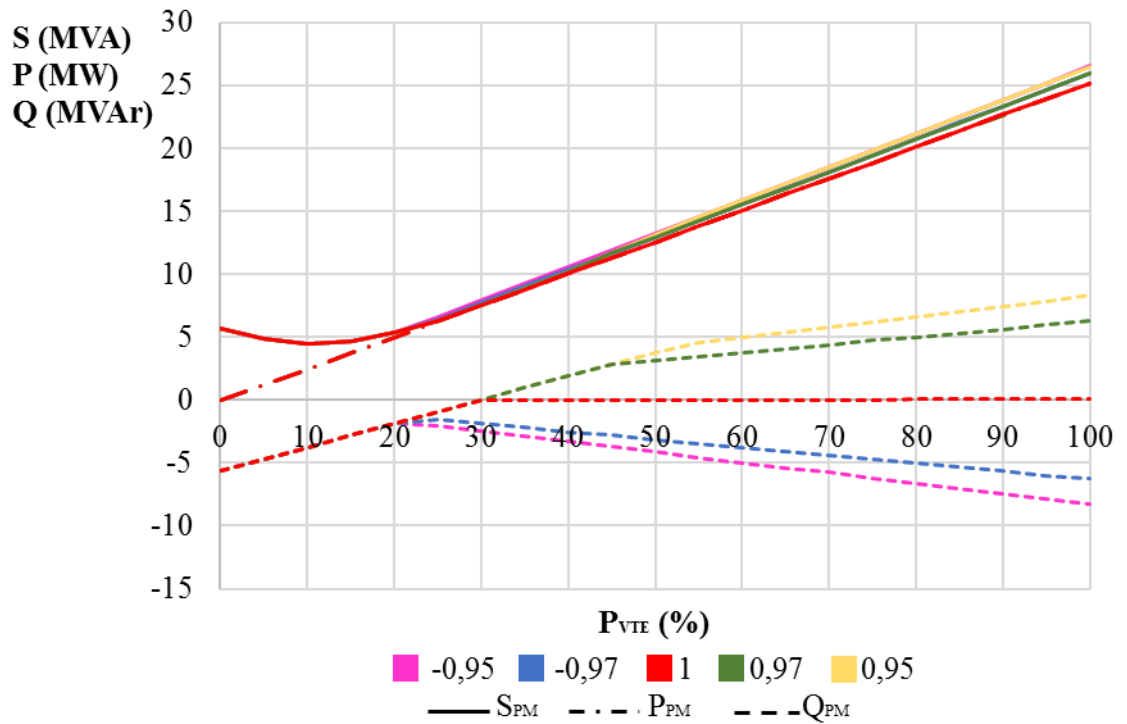
Graf vyobrazuje zvyšování nebo snižování napětí v předávacím místě vlivem změny velikosti induktivního výkonu a jeho charakteru.

7.1 Řešení bez kompenzačního zařízení

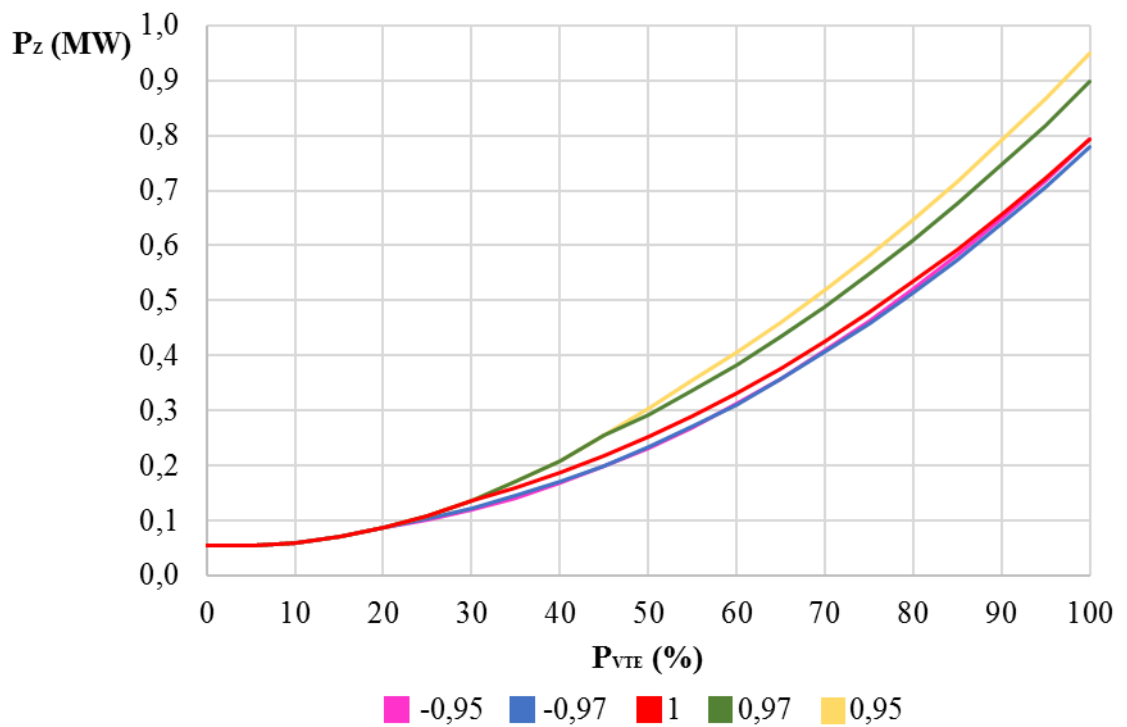
Pro první řešenou variantou jsem provedl výpočty bez jakéhokoliv kompenzačního zařízení. Jedinou možností omezení velikosti nabíjecích kapacitních proudů byla regulace účinníku, s kterým pracují větrné elektrárny. Tímto způsobem bylo možné také samozřejmě současně nastavovat účinník v předávacím místě a docílit tak požadavku distributora. Při požadavku na účinník 0,95, 0,97 a 1 dochází do 25 % výkonu elektráren k přenosu jalového výkonu kapacitního charakteru. Až od 30 % je jalový výkon induktivního charakteru. Od 30 % je také možné splňovat požadavek na účinník 1 v předávacím místě, od 45 % se daří udržovat účinník 0,97 a od 55 % účinník 0,95. Nejnižší hodnoty jalového výkonu kapacitního charakteru je v těchto případech dosaženo nastavením účinníku větrné elektrárny na hodnotu +0,8. Požadavek na kapacitní účinník -0,95, -0,97 lze zajistit od výkonu 25 % elektrárny regulací účinníku větrné v induktivním rozmezí od +0,8 do 1. Pro požadavek na -0,97 při výkonu 90 % musí začít elektrárna pracovat s kapacitním účinníkem, aby dokázala splňovat požadavek. Při požadavku na -0,95 dochází k nutnosti překlopení při 70 % výkonu. Práci s kapacitním účinníkem elektráren zvětšujeme velikost kapacitního proudu, který v předávacím místě již je, a který bychom se při požadavku na induktivní účinník v předávacím místě snažili omezovat.



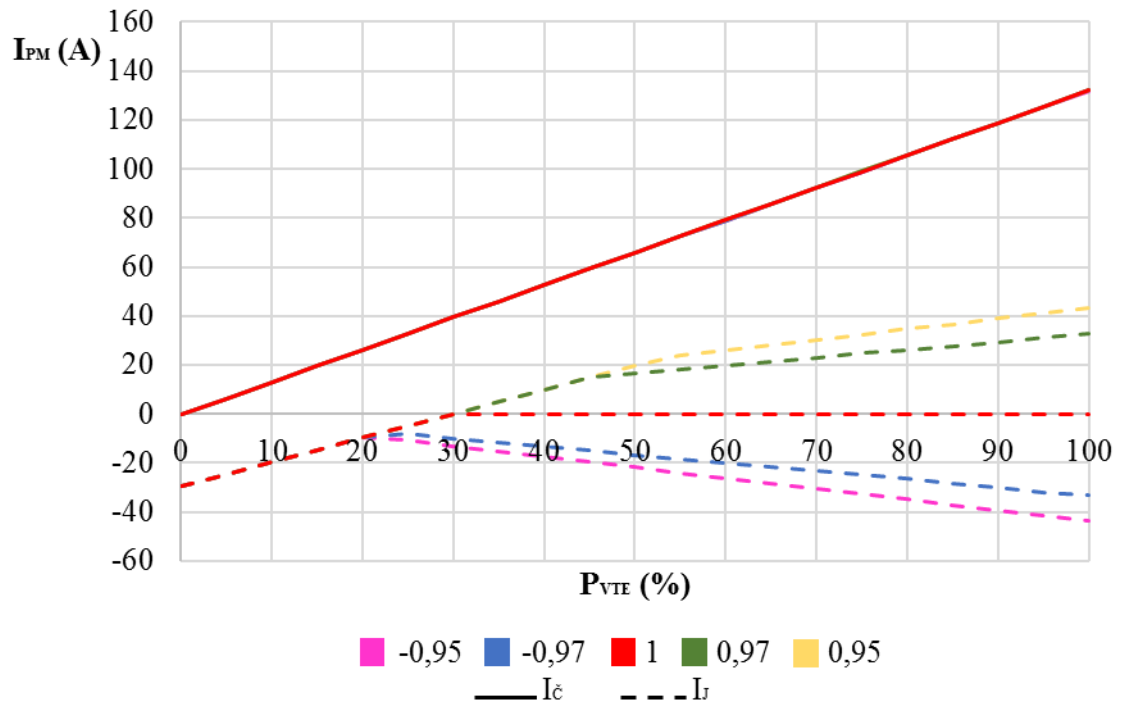
Graf. 7.1 Účinník v závislosti na výkonu VTE



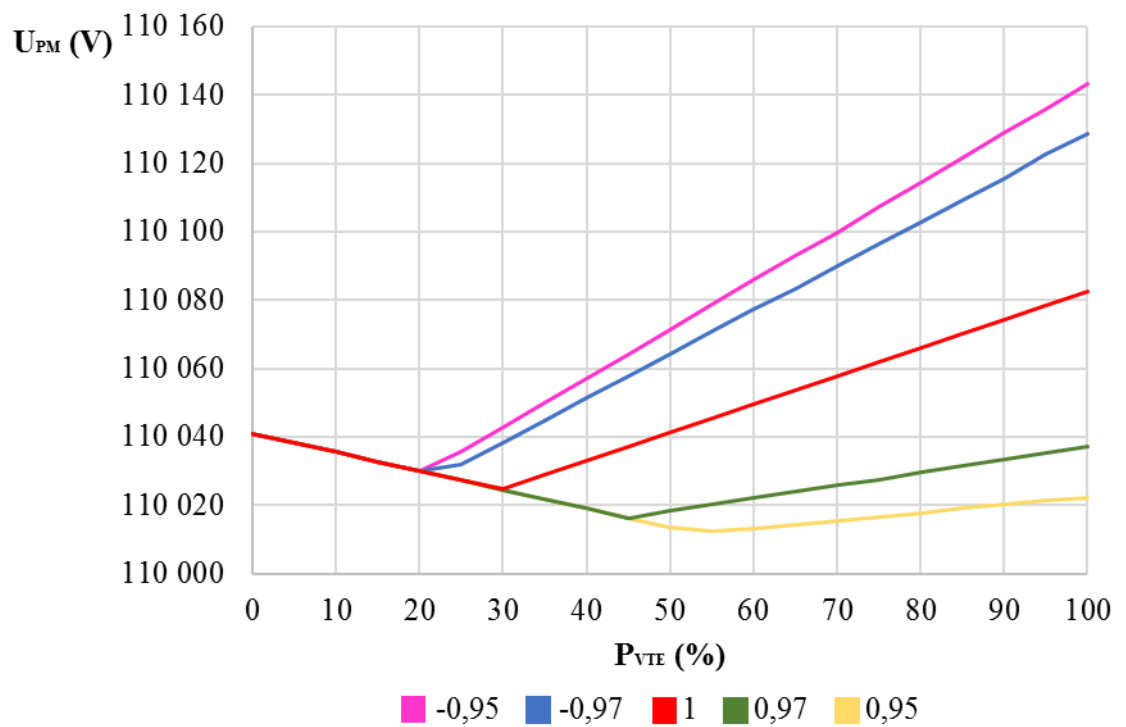
Graf. 7.2 Výkony v závislosti na výkonu VTE



Graf. 7.3 Ztráty v závislosti na výkonu VTE



Graf. 7.4 Proudý v závislosti na výkonu VTE

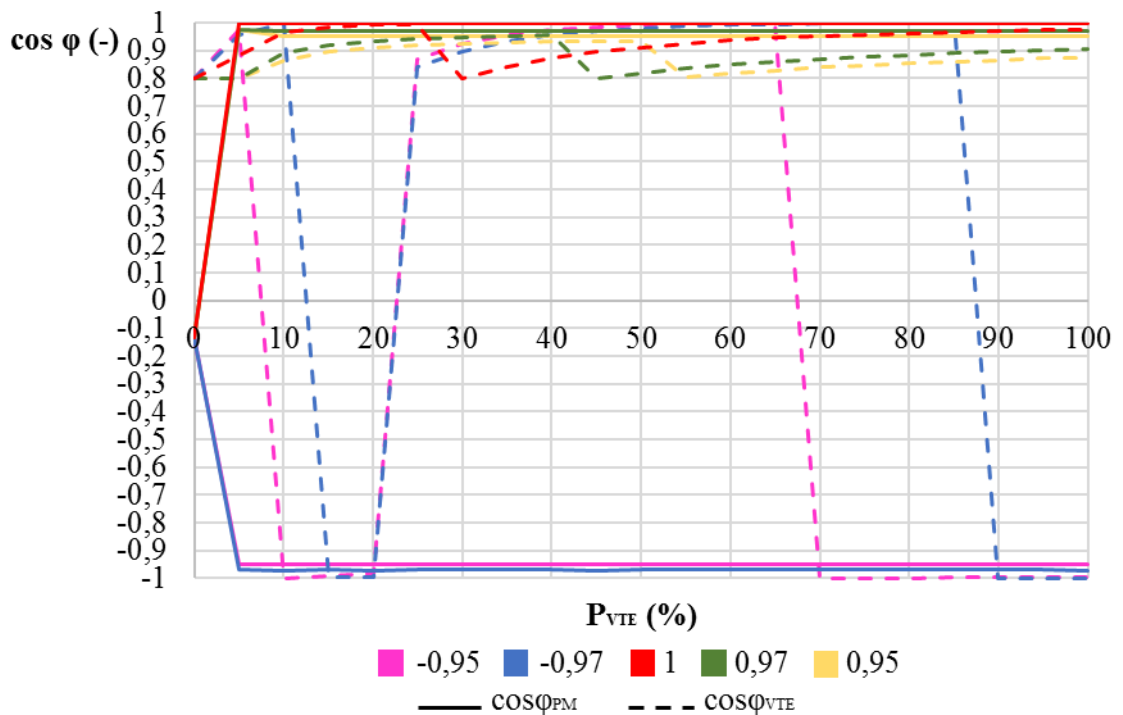


Graf. 7.5 Napětí v závislosti na výkonu VTE

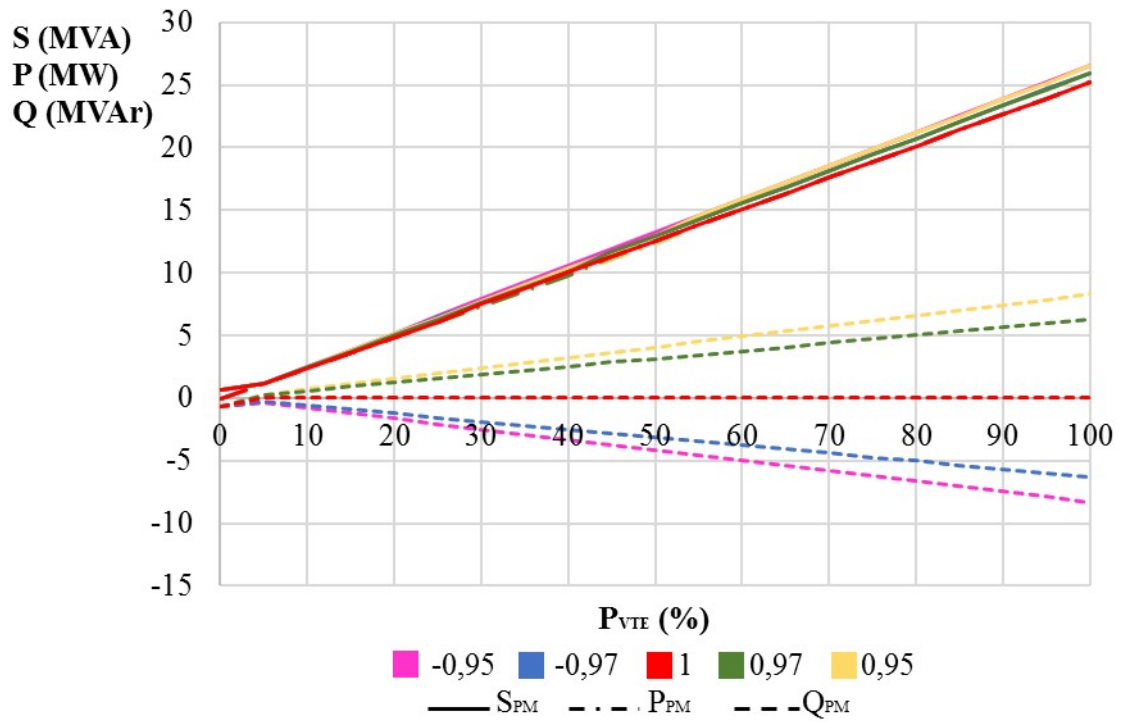
7.2 Kompenzace fixní tlumivkou

Z výpočtu obvodu neobsahujícího kompenzaci a při nulovém dodávaném výkonu je zřejmé, že je třeba vykompenzovat zhruba 5,6 MVar jalového výkonu kapacitního charakteru jímž je vedení nabíjeno. Pro řešení s fixní kompenzací jsem se rozhodl provést analýzu pro paralelní kompenzaci o několika velikostech, aby bylo možné určit, při jak velké kompenzací je možné docílit požadovaného účinníku v předávacím místě. Velikosti analyzovaných fixních kompenzací jsou 1, 2, 3, 4, 5 a 6 MVar, v této kapitole uvádím grafy, vztahující se k výsledkům kompenzace o velikosti 5 MVar v příloze A.6 až A.10 jsou umístěny tabulky hodnot. V příloze jsem také umístil další grafy pro řešené velikosti fixní kompenzace.

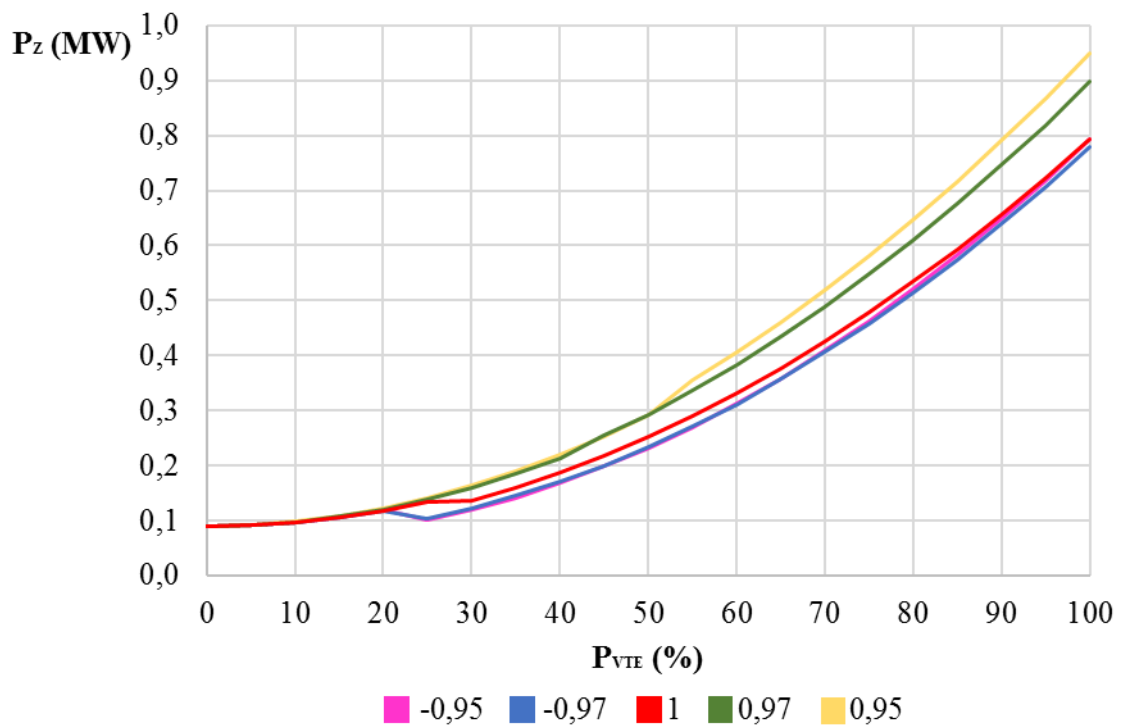
Při použití dekompenzační tlumivky o velikosti 5 MVar je dosahováno požadovaného účinníku již při 5 % až 10 % výkonu dodávaného větrnými elektrárnami. Kapacitní nabíjecí výkon v předávacím místě je omezen při nulovém výkonu na 663 KVar, není zcela omezen, ale hodnota je výrazně menší a tím je úměrně i snížena hodnota kapacitního nabíjecího proudu. Z výsledků je ale patrné, že dochází ke zvyšování ztrát v oblasti, v které je použita kompenzace.



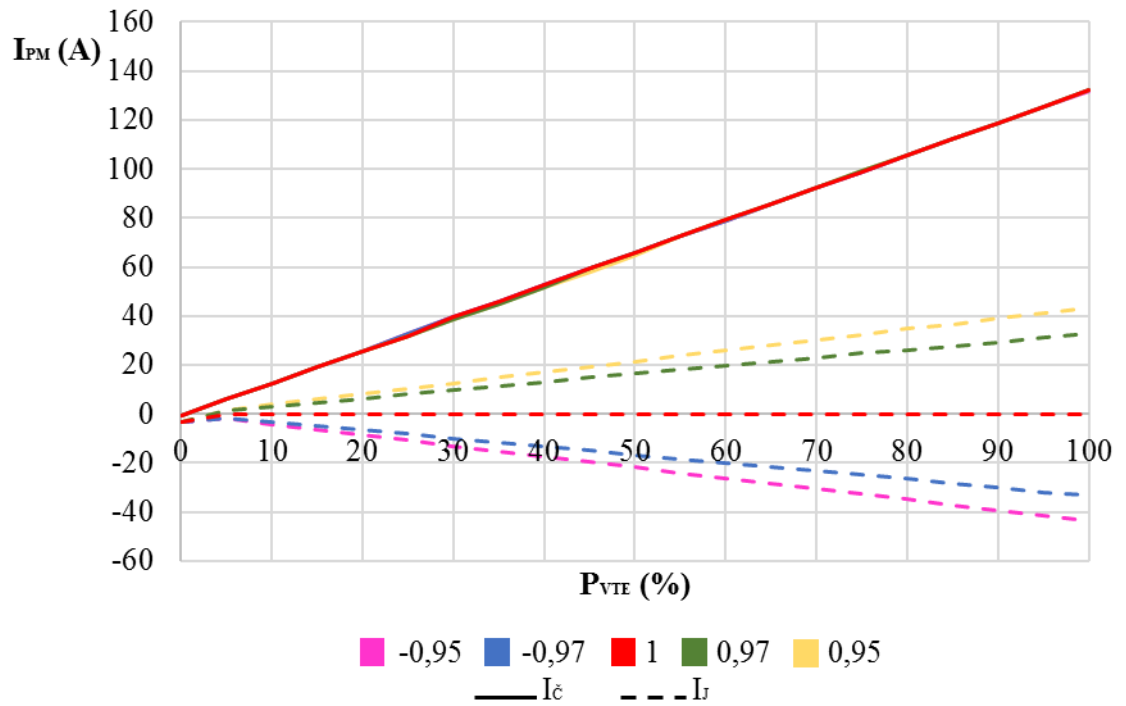
Graf. 7.6 Účinník v závislosti na výkonu VTE



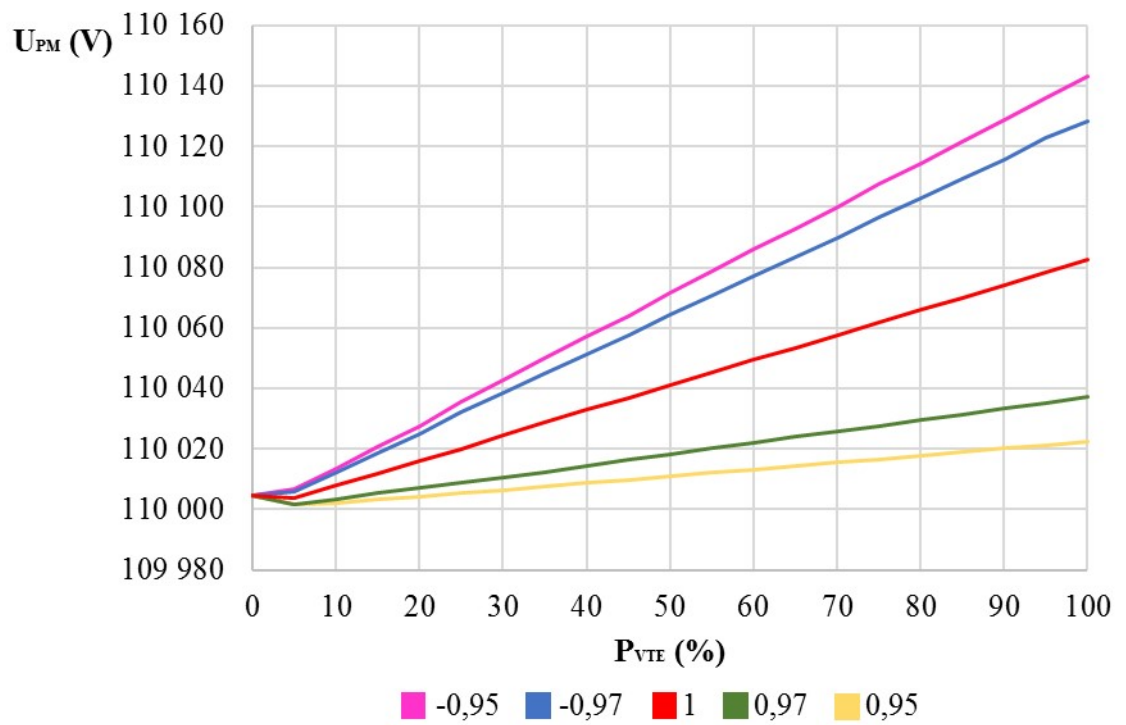
Graf. 7.7 Výkony v závislosti na výkonu VTE



Graf. 7.8 Ztráty v závislosti na výkonu VTE



Graf. 7.9 Proudý v závislosti na výkonu VTE

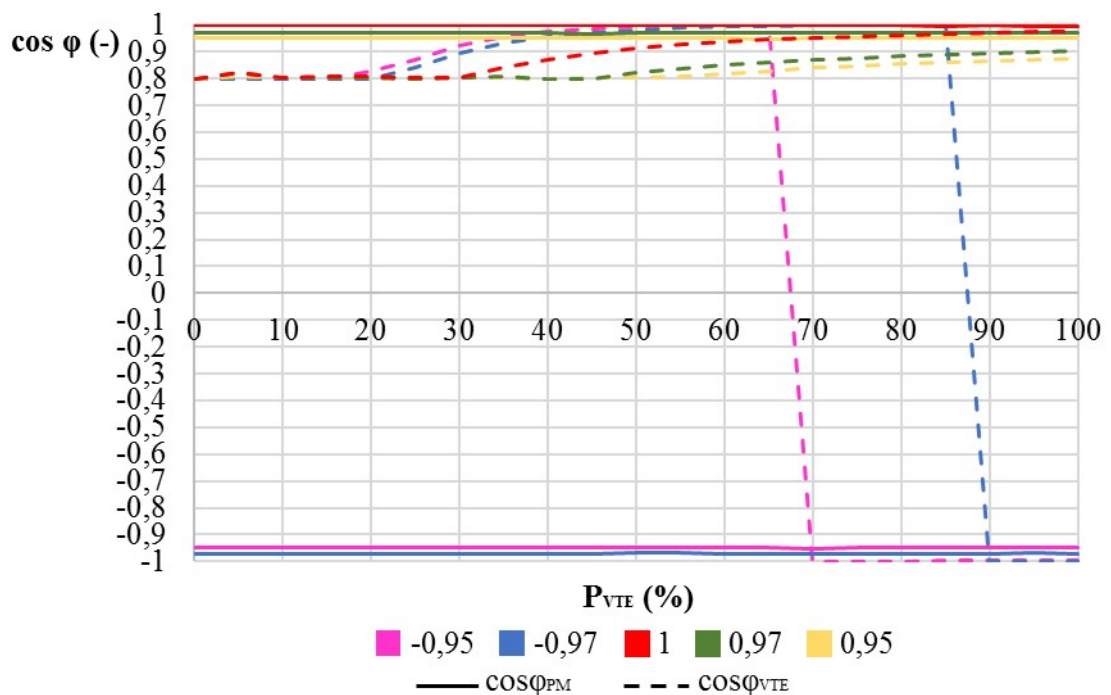


Graf. 7.10 Napětí v závislosti na výkonu VTE

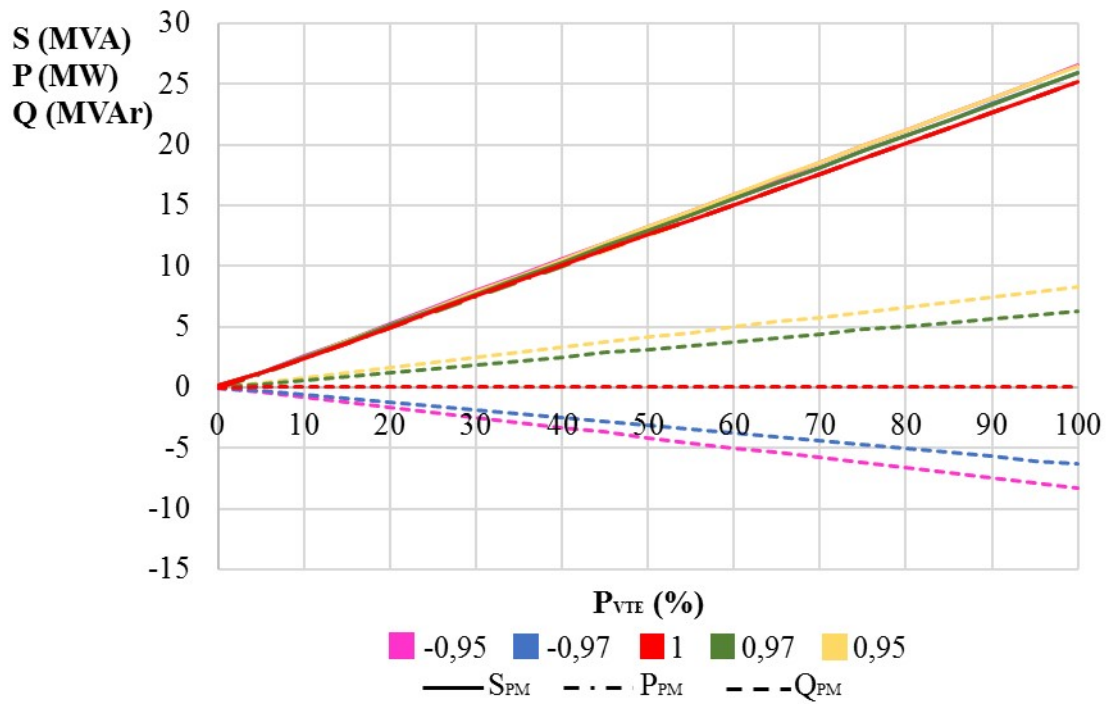
7.3 Kompenzace plynule laditelnou tlumivkou

Pro analýzu laditelných tlumivek jsem zvolil kompenzace pracující od 400 kVAr do 4 MVar, dále kompenzace pracující v rozsahu od 500 kVAr do 5 MVar a kompenzace pro kterou uvádím výsledky v této kapitole pracující v rozsahu od 600 kVAr do 6 MVar. V příloze uvádím další dvě varianty.

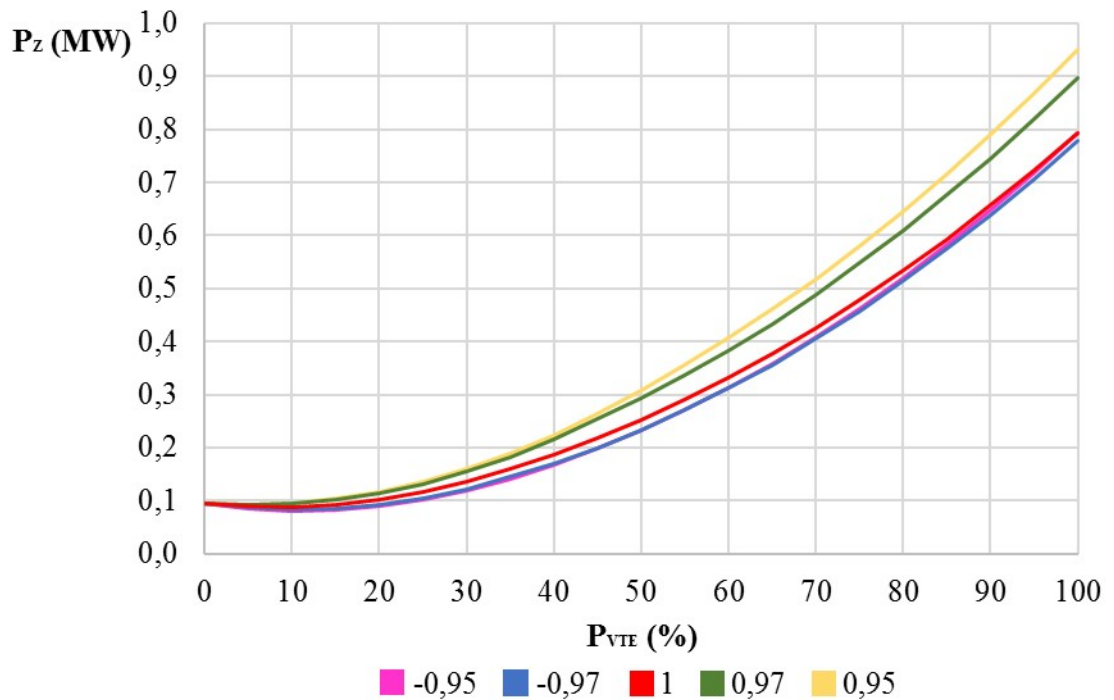
Touto nastavitelnou kompenzací lze dosáhnout veškerých požadovaných hodnot na účinník v předávacím místě v celém provozním chodu větrných elektráren. Tím byl rovněž omezen veškerý kapacitní nabíjecí proud. Kapacitní jalový výkon je s touto kompenzací jenom v případě, pokud je takový požadavek v předávacím místě.



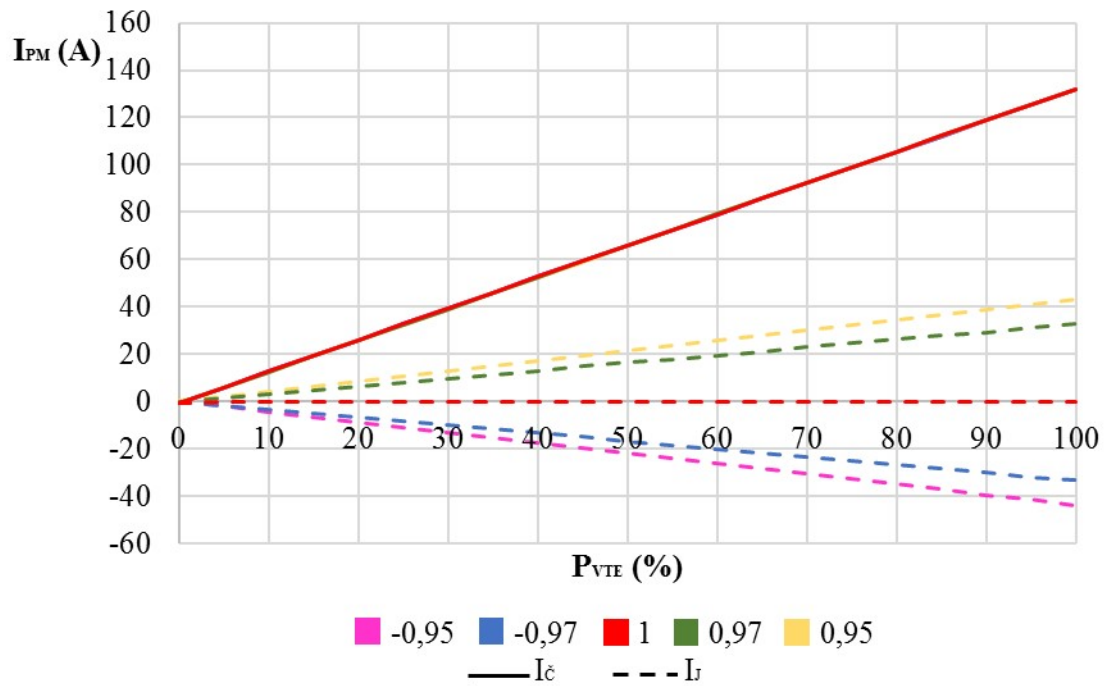
Graf. 7.11 Účinník v závislosti na výkonu VTE



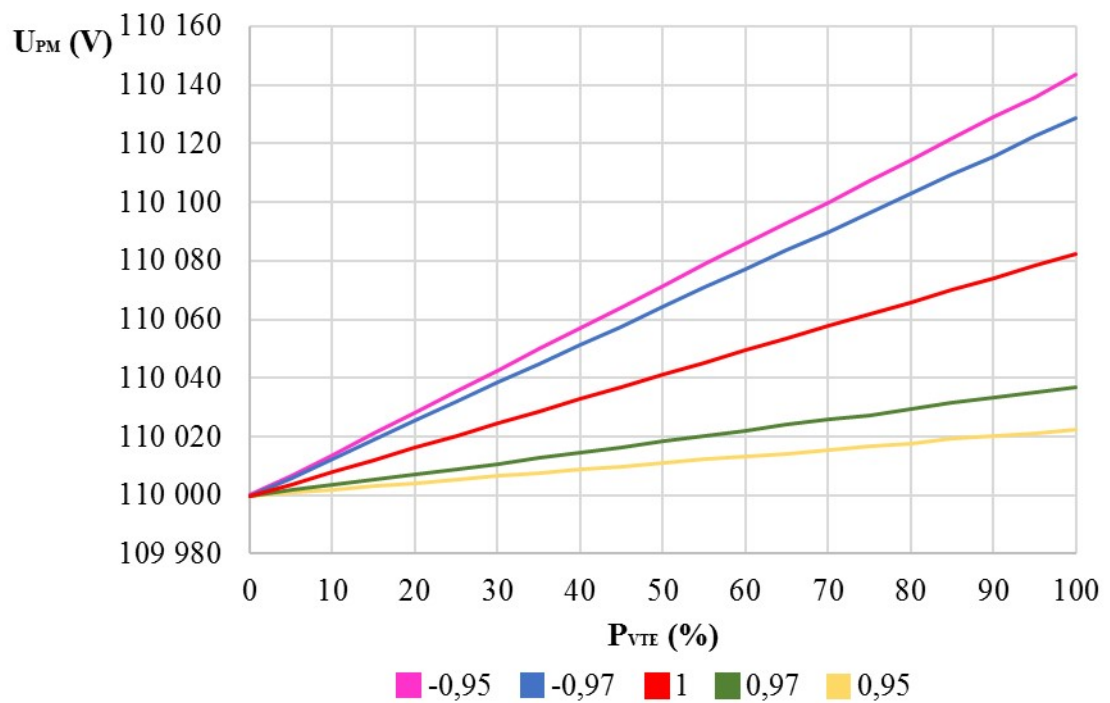
Graf. 7.12 Výkony v závislosti na výkonu VTE



Graf. 7.13 Ztráty v závislosti na výkonu VTE



Graf. 7.14 Proudý v závislosti na výkonu VTE



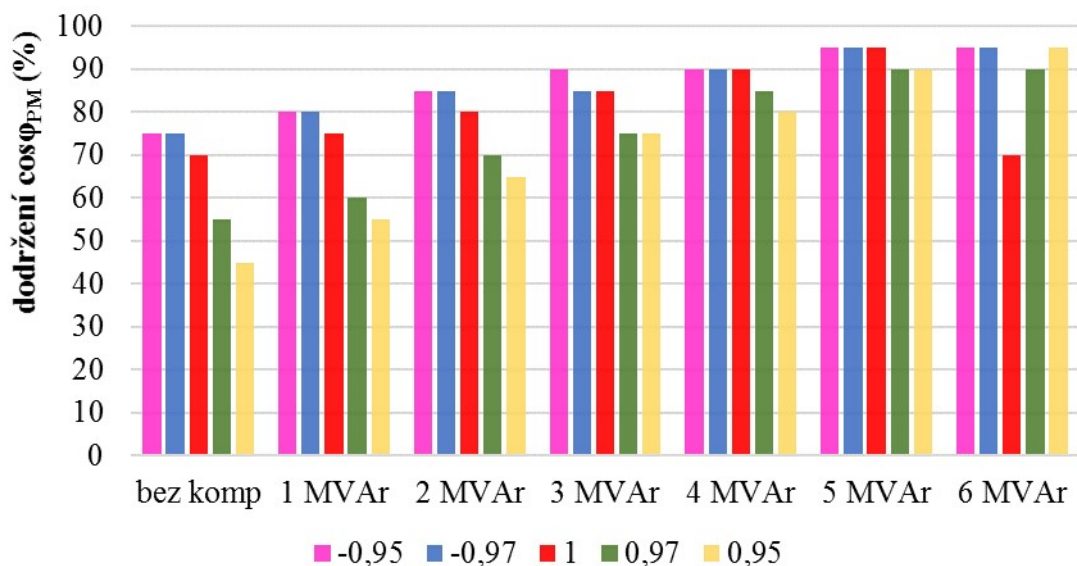
Graf. 7.15 Napětí v závislosti na výkonu VTE

8 Energetické zhodnocení

8.1 Dodržování účinníku v předávacím místě

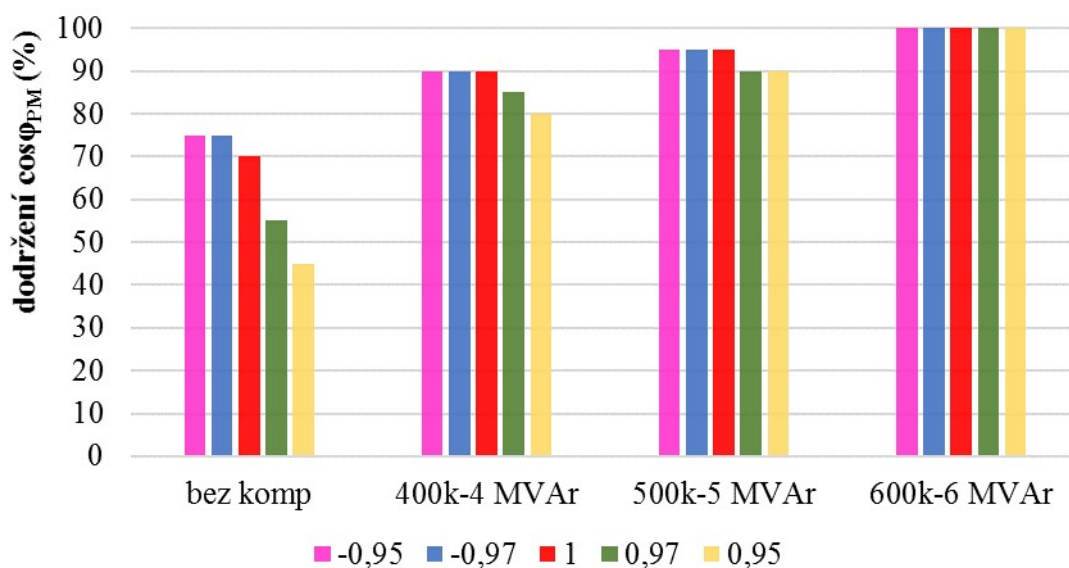
V následujících dvou grafech shrnuji dodržování jednotlivých požadavků na účinník v předávacím místě pro veškeré analyzované způsoby kompenzace. V prvním grafu je možné porovnat srovnání fixních tlumivek s tím, jak je dodržován účinník bez kompenzace, v druhém grafu jsou obdobně srovnány nastavitelné tlumivky. Je nutno brát v potaz, že svislá osa nevyobrazuje výkon větrných elektráren. Na sto procentech pro dodržování účinníku se nachází nulový výkon elektráren a obráceně, jelikož účinník se daří udržovat nejnáze při největším výkonu.

V grafu s fixními tlumivkami je znát, jak se při zvětšující kompenzaci daří čím dál lépe dodržovat účinník. Nejlépe dodržuje účinník z analyzovaných tlumivek ta o kompenzační velikosti 5 MVar, i když ho nedokáže dodržovat úplně v celém rozsahu. Při větší velikost kompenzace 6 MVar je již dodržování zhoršováno při požadavku na účinník 1, jelikož největší velikost, kterou bylo požadováno dekompenzovat je 5,6 MVar kapacitních. Hůře se dodržuje účinník 0,95 a 0,97 induktivního charakteru, protože je vždy nejdříve potřebné odebrat kapacitní část výkonu, jenž je přítomna, proto je hodnota 0,95 dodržována v menší míře.



Graf. 8.1 Přehled dodržování účinníku s fixními tlumivkami

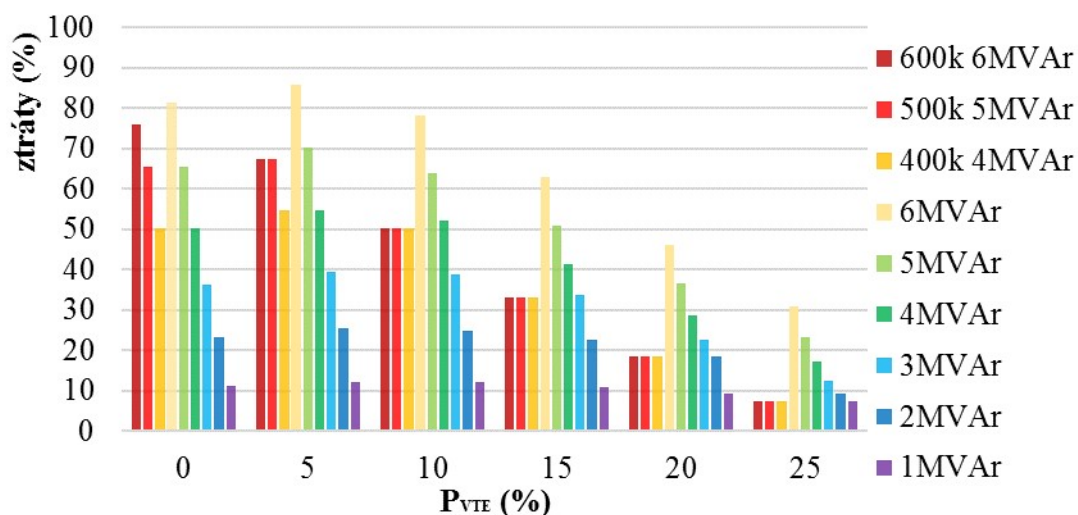
Pro analýzu nastavitelných tlumivek jsem zkoumal tři jejich varianty. První dvě varianty 400 k-4 MVar a 500 k-5 MVar dokáží docílit požadovaného účinníku úplně stejně jako fixní tlumivky 4 MVar a 5 MVar. Rozdílem je však, že s laditelnými tlumivkami jsem požadavku docílil především nastavováním velikosti kompenzace. Tlumivka nastavitelná v rozsahu 600 k-6 MVar dokáže docílit požadovaného účinníku v celém rozsahu výkonu větrných elektráren a rovněž tedy i při nulovém výkonu dokáže účinník upravovat na požadovanou hodnotu.



Graf. 8.2 Přehled dodržování účinníku s laditelnými tlumivkami

8.2 Ztráty

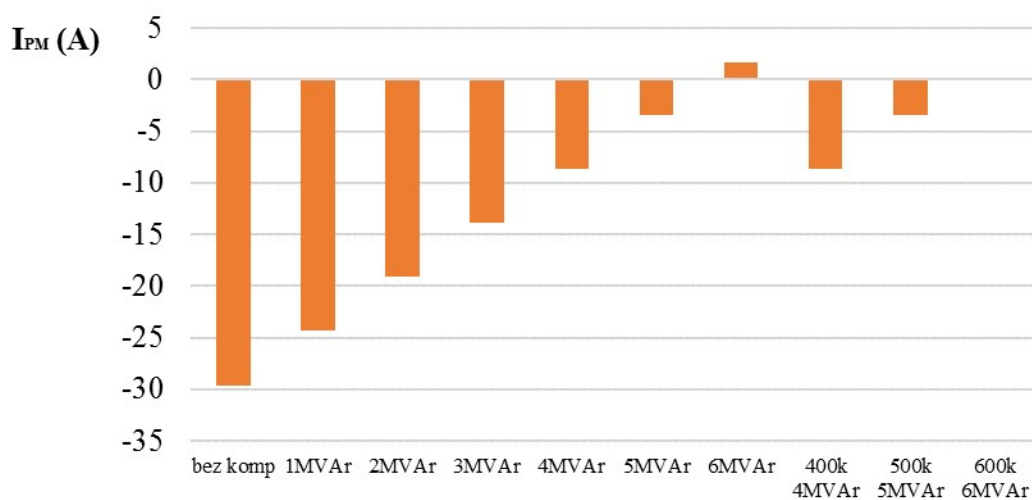
Jelikož ztráty na úseku mezi výrobnou a místem předání se liší pouze v místech výkonových stupních elektrárny, kde bylo potřeba připojit kompenzaci pro dosažení požadovaného účinníku, analyzuji v následujícím grafu pouze tento úsek. V grafu zobrazuji, jak se ztráty pro daný procentní výkon elektrárny zvýšily oproti ztrátám, které jsou bez připojené kompenzace při požadavku na účinník 1. Obdobné grafy jsou v příloze C.1 i pro další varianty požadavku na účinník. Při stavu, kdy elektrárny nedodávají výkon, jsou na vedení také jisté ztráty vyvolané proudem tekoucím ze sítě.



Graf. 8.3 Změny ztrát vlivem kompenzace

8.3 Omezování kapacitního nabíjecího proudu

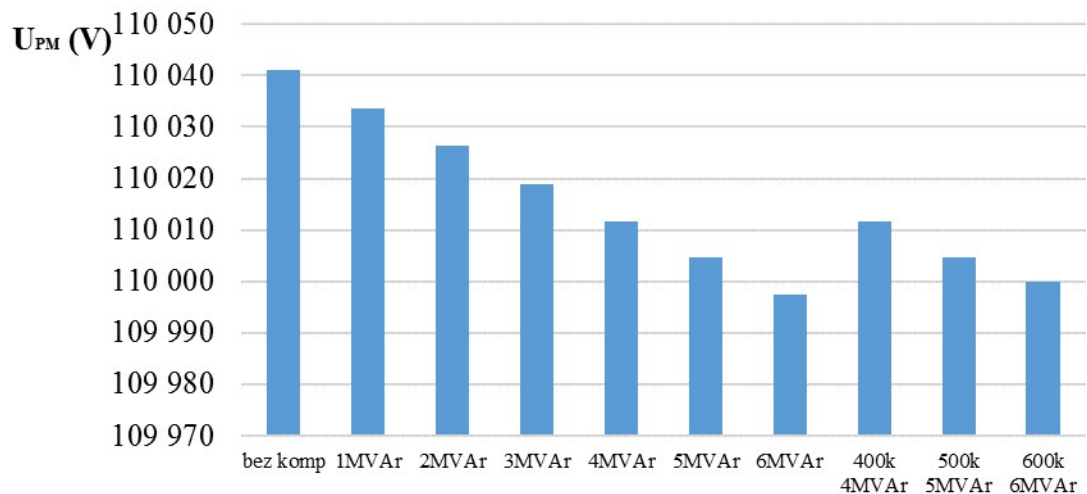
Zde je uvedeno omezení kapacitního nabíjecího proudu při nulovém dodávaném výkonu z větrných elektráren. Je znát, jak se jednotlivým velikostem kompenzace daří tento proud omezovat. Nejlépe se ho daří omezit kompenzací 600 k-6 MVar kdy je v grafu jeho hodnota nepatrná, avšak stále je tam jistá hodnota proudu, a to ale již induktivního charakteru. Jelikož v tomto stavu se daří dosahovat účinníku pouze při kompenzací 600 k-6 MVar, tak se také bude jako jediná hodnota měnit pouze tato pro různé účinníky.



Graf. 8.4 Kapacitní nabíjecí proudy a jejich omezení

8.4 Změny napětí v předávacím místě

V tomto grafu je vyobrazen Ferrantiho jev, ke kterému dochází v předávacím místě, tedy zvýšenému napětí, a to při nulovém dodávaném výkonu z větrných elektráren. Díky malým délkám kabelů, v této studii, nedochází k příliš velkému zvýšení napětí ani na koncích kabelů před větrnými elektrárnami. Přesto je zřejmé spojení s předchozím grafem, kdy bez použití kompenzace protéká proud kapacitního charakteru a napětí je v předávacím místě větší. Obdobně je také možné vidět, jak se snižujícím se kapacitním charakterem proudu blíží napětí hodnotě bližší 110 kV. Při proudu induktivního charakteru poté dochází již ke snižování napětí (kompenzace 6 MVar).



Graf. 8.5 Velikosti napětí v předávacím místě

Závěr

V první polovině mé diplomové práce jsem provedl teoretický rozbor problematiky dekompenzace nabíjecích kapacitních proudů vedení, související s vyvedením výkonu větrných elektráren kabelovým vedením do distribuční soustavy. To zahrnovalo uvedení do používaných typů generátorů ve větrných elektrárnách a možnosti řízení jalového výkonu s kterým pracuji. Dále jsem popsal elektrizační soustavu a uvedl pro porovnání velikost délek venkovního vedení proti délkám kabelového vedení z pohledu, do které soustavy náleží. Následuje popis venkovního a kabelového vedení a jejich odlišnosti. V práci popisuji pojem kompenzace v energetice, blíže popisuji způsob provádění dekompenzace pomocí dekompenzačních tlumivek (Obr. 4.3) a popisuji jejich konstrukci. V poslední teoretické části mé práce jsem rozepsal požadavky, které jsou dány provozovateli distribučních soustav pro připojování elektráren z obnovitelných zdrojů. To, že v předávacím bodě do distribuční soustavy musí být schopny splňovat požadavek na účinník.

V další části práce, již praktické, jsem zpracovával výpočty dle zadání případové studie. Použitím metody substituce na schéma s několika zdroji jsem vypracoval výpočty, a ty jsem převedl do podoby výpočtového programu vytvořeném v tabulkovém editoru Microsoft Excel. To mi umožnilo provést opakovaně výpočty pro postupný náběh výkonu větrných elektráren a snažit se dodržovat požadavky v předávacím místě a snižovat hodnotu nabíjecího kapacitního proudu změnami účinníku elektráren a připojováním kompenzace.

Při stavu, při kterém není dodáván elektrárnami žádný výkon, je v předávacím místě hodnota 5,6 MVar kapacitního jalového výkonu a dále hodnota kapacitního proudu činní 29,61 A (předávací místo se nachází na napět'ové hladině 110 kV). Tyto nežádoucí hodnoty je potřeba kompenzovat. Samotnou činností generátoru je možné provést kompenzaci a snažit se docílení požadavku na účinník, ale při nulovém výkonu a rovněž při nízkých výkonech větrné elektrárny to není možné. Ideální by bylo docílení požadavku v celém rozsahu výkonu.

V práci jsem analyzoval několik velikostí kompenzace, zvolené ze znalosti kapacitního jalového výkonu při nulovém výkonu. Pro variantu s fixními tlumivkami jsem volil velké zastoupení velikostí, 1, 2, 3, 4, 5 a 6 MVar. Pro variantu s plynule laditelnými tlumivkami

jsem volil maximální hodnotu, s kterou dokáží pracovat blízkou nejneprůzračnější hodnotě, 400 kVAr až 4 MVar, 500 kVAr až 5 MVar a 600 kVAr až 6 MVar.

Již bez připojené kompenzace se daří velkou část požadavku na účinník splňovat, ale především až při větších výkonech, to ale není zdaleka dostačující vzhledem k tomu, že větrné elektrárny pracují většinu času okolo 25 % výkonu. Nejčastější požadavek na účinník na řešené napěťové hladině je 0,95 induktivních a bez jakékoliv kompenzace se daří tento požadavek uspokojit až při 55 % výkonu elektráren. Se zvětšující se velikostí kompenzace se daří docílovat požadavku dříve. Nejlépe s fixních tlumivek dodržuje účinník kompenzace velikosti 5 MVar, při větší velikosti kompenzace 6 MVar, než je velikost kapacitního výkonu dochází k překompenzování a zhoršení dodržování požadavku na účinník 1. Plynule laditelné tlumivky dodržují účinník zcela ve stejné míře, vyjma tlumivky 600 kVAr až 6 MVar, která již dokáže účinník udržet v celém výkonovém rozsahu větrných elektráren a také při nulovém dodávaném výkonu dokáže zlepšovat poměry v předávacím místě.

Ztráty se rovněž odvíjí od velikosti připojené kompenzace. Platí, že ze zvyšující se kompenzací se rovněž zvětšují i ztráty v rozmezí, kde je kompenzace připojena. To ale neplatí při použití plynule laditelných tlumivek, u kterých regulací kompenzačního výkonu dochází i ke zmenšení samotných ztrát, které se projevují v celku jako i o několik procent nižší než při použití fixních tlumivek. Oblast výkonů VTE, jenž se daří vykompenzovat jenom pomocí nastavování jejich účinníku, zůstává pro různé kompenzace totožná.

Pokud se bude sledovat vztah mezi jalovou složkou proudu a napětím v předávacím místě, je zřejmé, že snižováním hodnoty kapacitního nabíjecího proudu při použití kompenzace dochází ke snižování hodnoty napětí, napětí se tak blíží hodnotě bližší 110 kV. Nejlépe se tak daří opět kompenzací laditelnou tlumivkou operující s velikostí 600 kVAr až 6 MVar, jelikož se jí daří nejlépe omezovat hodnotu nabíjecího kapacitního proudu. Bez kompenzace je možné sledovat zvyšující se hodnoty se zvětšující se vzdáleností nezatíženého vedení. Délky kabelových vedení v řešené studii nejsou tak velké, aby docházelo k překročení mezi napětí $\pm 10\%$ ze jmenovitého hodnoty napětí.

Nabízí se taky možnost ekonomického zhodnocení pro danou problematiku, ale jako takové by pravděpodobně mohlo být obsahem samostatné diplomové práce. Pro značně zjednodušený pohled na peněžní částky, v kterých by se mohly hodnoty pohybovat, uvádím

následující předpoklad: Po většinu roku pracují větrné elektrárny pouze na 25 % instalovaného výkonu, to při současné ceně výkupní energie z větrných elektráren (dle Energetického regulačního úřadu je 1 930 Kč/MWh pro rok 2017), činní částku pohybující se nad hranicí 100 milionů korun za rok, bez započtených dotací. Cenové relace fixních tlumivek se pohybují od 600 tisíc Kč za variantu tlumivky o velikosti 1 MVar až 1,5 milionu Kč za variantu 6 MVar. Cenová relace plynule laditelných tlumivek začíná na 4 milionech Kč za tlumivku pracující v rozsahu od 400 kVar až do 4 MVar. Je důležité také počítat s velkou částkou za stavbu, projekci, připojení k síti a následovnou údržbu větrných elektráren, přesto ale předpokládám, že by bylo nejvýhodnější investovat do kompenzačního zařízení, které umožní spravovat požadavek v předávacím místě nejlépe. Jelikož při variantě, která by nedokázala pracovat v celém rozsahu ideálně, by mohl nastat stav, při kterém by byl provozovatel větrných elektráren nucen platit penalizaci, třeba za dodávku kapacitního jalového výkonu.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] RYCHETNÍK, Václav, Jiří PAVELKA a Josef JANOUŠEK. Větrné motory a elektrárny. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-01-01563-7.
- [2] ŠANTÍN, Vlastimil. Simulace jevů způsobených připojováním a provozem...
- [3] MERTLOVÁ, Jiřina a Lucie NOHÁČOVÁ. Elektrické stanice a vedení. V Plzni: Západočeská univerzita, Fakulta elektrotechnická, 2008. ISBN 978-80-7043-724-7.
- [4] MERTLOVÁ, Jiřina, Pavla HEJTMÁNKOVÁ a Tomáš TAJTL. Teorie přenosu a rozvodu elektrické energie. Plzeň: Západočeská univerzita, 2004. ISBN 9788070433072.
- [5] ERU, Statistika a sledování kvality [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/elektrina/statistika-a-sledovani-kvality>
- [6] ŽÁK, František. Analýza způsobu uzemnění uzlu sítí vn a jejich vliv na provoz a chránění sítí VN. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2014. 214 s. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11025/13741>
- [7] TESAŘOVÁ, Miloslava. Průmyslová elektroenergetika. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-703-3.
- [8] KORENC, Vladimír a Tomáš BŮBELA. Problematika regulace jalového výkonu u fotovoltaických elektráren [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.elcom.cz/cz/ke-stazeni/energeticke-systemy/powersystems-cz/vylepseni-kvality-elektriny/problematika-regulace-jaloveho-vykonu-u-fotovoltaickych-elektren/stahnout>
- [9] PANKRÁC, Vítězslav. Tlumivky v silnoproudé elektrotechnice, část 1 [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/file.php?id=200000271-1906a1a00a>
- [10] Dekompenzační tlumivky DEKOMP [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: http://www.kbh.cz/images/pdf/cesky/DEKOMP_KBH_CZ_email.pdf
- [11] PANKRÁC, Vítězslav. Tlumivky v silnoproudé elektrotechnice, část 2 [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi69-Kept7TAhWGVRoKHS_8DesQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.elektrorevue.cz%2Fcz%2Fdownload%2Fcasto-pouzivane-aplikace-tlumivek-v-silnoproude-elektrotechnice%2F&usg=AFQjCNHShVhfgD7IK5Mjnih4ztdjHTUHQ&sig2=SoAR

- oEtE_Eu6YeXo92dqiQ
- [12] MOLNÁR, Miloš. Zlepšení účinnosti v energetice a návrh vhodných kompenzačních prostředků [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUK Ewj7x77Spt7TAhULXCwKHc9KA9UQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.emcos.cz%2Fpdf%2Fzlepseni_uciniku_mm-2001.pdf&usq=AFQjCNE2SNIwSWGPJN_OJCz5767Qv-1gng&sig2=Nw0jYr8Z_ckkfa2qzWRypw
- [13] MAYER, Daniel. Elektrodynamika v energetice. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-164-0.
- [14] Pravidla provozování DS [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa/pravidla-provozovani-ds.html>
- [15] Regulace činného a jalového výkonu elektrických výroben [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.egc-cb.cz/kompletni-realizace-energetickych-celku/regulace-cinneho-a-jaloveho-vykonu-elektrickych-vyroben.html>
- [16] ŠTROBLOVÁ, Milada. Elektroenergetika: podklady pro cvičení. Plzeň: Západočeská univerzita, 1998. ISBN 80-7082-464-6.

Přílohy

Příloha A.1 Tabulka bez kompenzace na $\cos\varphi=1$

P_{VTE} (%)	Q_{TUM} (VAR)	$\cos\varphi_{VTE}$ (-)	P_{TUM} (W)	Q_{TUM} (VAR)	S_{TUM} (VA)	$\cos\varphi_{PM}$ (-)	P_z (W)	I_c (A)	I_l (A)	U_{PM} (V)
0	0	0,800	-55 820,50	-5 643 210,87	5 643 486,94	-0,010	53 885,84	-0,29	-29,61	110 041,05
5	0	0,800	1 206 913,69	-4 700 244,06	4 852 724,47	-0,249	53 546,36	6,33	-24,66	110 038,29
10	0	0,800	2 469 373,66	-3 757 042,27	4 495 906,24	-0,549	58 849,40	12,96	-19,71	110 035,53
15	0	0,800	3 731 559,41	-2 813 605,52	4 673 426,12	-0,798	69 794,98	19,58	-14,77	110 032,77
20	0	0,800	4 993 470,94	-1 869 933,80	5 332 110,69	-0,936	86 383,09	26,20	-9,82	110 030,01
25	0	0,800	6 255 108,25	-926 027,11	6 323 282,81	-0,989	108 613,73	32,82	-4,87	110 027,26
30	0	0,801	7 516 459,39	3 936,10	7 516 460,42	1,000	136 351,79	39,44	0,00	110 024,61
35	0	0,842	8 776 941,40	7 435,58	8 776 944,55	1,000	159 870,49	46,05	0,01	110 028,72
40	0	0,872	10 037 516,74	10 331,28	10 037 522,06	1,000	186 992,68	52,67	0,02	110 032,84
45	0	0,895	11 298 185,05	10 392,76	11 298 189,83	1,000	217 697,09	59,28	0,01	110 036,98
50	0	0,912	12 558 948,72	12 648,34	12 558 955,09	1,000	252 031,63	65,89	0,01	110 041,11
55	0	0,926	13 819 806,75	13 165,25	13 819 813,02	1,000	289 958,81	72,51	0,00	110 045,25
60	0	0,936	15 080 759,29	16 963,53	15 080 768,83	1,000	331 526,50	79,12	0,01	110 049,37
65	0	0,945	16 341 805,93	20 664,94	16 341 819,00	1,000	376 702,51	85,73	0,02	110 053,50
70	0	0,952	17 602 946,68	24 532,47	17 602 963,78	1,000	425 489,33	92,34	0,02	110 057,63
75	0	0,958	18 864 183,17	26 137,36	18 864 201,28	1,000	477 863,75	98,96	0,01	110 061,77
80	0	0,963	20 125 512,78	30 149,05	20 125 535,36	1,000	533 870,39	105,57	0,02	110 065,90
85	0	0,967	21 386 933,42	37 546,57	21 386 966,38	1,000	593 518,67	112,18	0,04	110 070,01
90	0	0,970	22 648 459,37	34 686,77	22 648 485,93	1,000	656 677,96	118,79	0,00	110 074,19
95	0	0,973	23 910 068,89	41 870,37	23 910 105,55	1,000	723 542,62	125,41	0,02	110 078,31
100	0	0,975	25 171 771,91	49 161,61	25 171 819,92	1,000	794 017,57	132,02	0,04	110 082,42

Příloha A.2 Tabulka bez kompenzace na $\cos\varphi = 0,97$

P_{VTE} (%)	Q_{TUM} (VAR)	$\cos\varphi_{VTE}$ (-)	P_{TUM} (W)	Q_{TUM} (VAR)	S_{TUM} (VA)	$\cos\varphi_{PMI}$ (-)	P_z (W)	I_c (A)	I_l (A)	U_{PMI} (V)
0	0	0,800	-55 820,50	-5 643 210,87	5 643 486,94	-0,010	53 885,84	-0,29	-29,61	110 041,05
5	0	0,800	1 206 913,69	-4 700 244,06	4 852 724,47	-0,249	53 546,36	6,33	-24,66	110 038,29
10	0	0,800	2 469 373,66	-3 757 042,27	4 495 906,24	-0,549	58 849,40	12,96	-19,71	110 035,53
15	0	0,800	3 731 559,41	-2 813 605,52	4 673 426,12	-0,798	69 794,98	19,58	-14,77	110 032,77
20	0	0,800	4 993 470,94	-1 869 933,80	5 332 110,69	-0,936	86 383,09	26,20	-9,82	110 030,01
25	0	0,800	6 255 108,25	-926 027,11	6 323 282,81	-0,989	108 613,73	32,82	-4,87	110 027,26
30	0	0,800	7 516 471,35	18 114,55	7 516 493,17	1,000	136 486,91	39,44	0,08	110 024,50
35	0	0,800	8 777 560,22	962 491,18	8 830 172,86	0,994	170 002,62	46,06	5,02	110 021,75
40	0	0,800	10 038 374,88	1 907 102,77	10 217 925,97	0,982	209 160,86	52,69	9,97	110 019,00
45	0	0,800	11 298 915,32	2 851 949,34	11 653 287,19	0,970	253 961,63	59,31	14,92	110 016,25
50	0	0,820	12 559 202,67	3 141 763,88	12 946 206,08	0,970	293 004,08	65,92	16,43	110 018,28
55	0	0,836	13 819 480,82	3 444 473,35	14 242 276,74	0,970	336 068,05	72,54	18,00	110 020,22
60	0	0,849	15 079 743,61	3 757 818,28	15 540 909,42	0,970	383 138,85	79,15	19,63	110 022,09
65	0	0,860	16 339 993,34	4 067 590,29	16 838 666,02	0,970	433 971,94	85,77	21,24	110 023,98
70	0	0,869	17 600 217,25	4 393 504,20	18 140 301,17	0,970	488 943,13	92,39	22,93	110 025,76
75	0	0,876	18 860 386,71	4 756 453,27	19 450 913,47	0,970	548 511,53	99,00	24,82	110 027,27
80	0	0,884	20 120 643,07	5 013 076,73	20 735 747,30	0,970	609 749,22	105,62	26,15	110 029,56
85	0	0,890	21 380 830,24	5 327 307,17	22 034 520,72	0,970	675 981,84	112,23	27,78	110 031,44
90	0	0,896	22 641 023,93	5 627 341,54	23 329 872,21	0,970	745 725,90	118,85	29,33	110 033,42
95	0	0,900	23 901 166,36	5 952 276,41	24 631 186,49	0,970	819 850,07	125,46	31,01	110 035,22
100	0	0,904	25 161 288,94	6 277 964,53	25 932 668,58	0,970	897 834,49	132,08	32,69	110 037,02

Příloha A.3 Tabulka bez kompenzace na $\cos\varphi = 0,95$

$P_{VTE} (\%)$	$Q_{TUM} (VAR)$	$\cos\varphi_{VTE} (-)$	$P_{TUM} (W)$	$Q_{TUM} (VAR)$	$S_{TUM} (VA)$	$\cos\varphi_{PM} (-)$	$P_z (W)$	$I_c (A)$	$I_l (A)$	$U_{PM} (V)$
0	0	0,800	-55 820,50	-5 643 210,87	5 643 486,94	-0,010	53 885,84	-0,29	-29,61	110 041,05
5	0	0,800	1 206 913,69	-4 700 244,06	4 852 724,47	-0,249	53 546,36	6,33	-24,66	110 038,29
10	0	0,800	2 469 373,66	-3 757 042,27	4 495 906,24	-0,549	58 849,40	12,96	-19,71	110 035,53
15	0	0,800	3 731 559,41	-2 813 605,52	4 673 426,12	-0,798	69 794,98	19,58	-14,77	110 032,77
20	0	0,800	4 993 470,94	-1 869 933,80	5 332 110,69	-0,936	86 383,09	26,20	-9,82	110 030,01
25	0	0,800	6 255 108,25	-926 027,11	6 323 282,81	-0,989	108 613,73	32,82	-4,87	110 027,26
30	0	0,800	7 516 471,35	18 114,55	7 516 493,17	1,000	136 486,91	39,44	0,08	110 024,50
35	0	0,800	8 777 560,22	962 491,18	8 830 172,86	0,994	170 002,62	46,06	5,02	110 021,75
40	0	0,800	10 038 374,88	1 907 102,77	10 217 925,97	0,982	209 160,86	52,69	9,97	110 019,00
45	0	0,800	11 298 915,32	2 851 949,34	11 653 287,19	0,970	253 961,63	59,31	14,92	110 016,25
50	0	0,800	12 559 181,54	3 797 030,88	13 120 612,96	0,957	304 404,93	65,93	19,86	110 013,50
55	0	0,806	13 819 231,80	4 525 921,61	14 541 496,96	0,950	356 151,78	72,55	23,68	110 012,33
60	0	0,818	15 079 229,77	4 980 231,50	15 880 361,34	0,950	406 905,57	79,17	26,05	110 013,17
65	0	0,829	16 339 182,44	5 398 644,76	17 207 970,48	0,950	460 950,09	85,78	28,23	110 014,27
70	0	0,839	17 599 103,24	5 789 976,85	18 527 068,49	0,950	518 382,14	92,40	30,26	110 015,57
75	0	0,847	18 858 947,38	6 212 846,97	19 855 965,45	0,950	580 510,16	99,02	32,46	110 016,65
80	0	0,854	20 118 737,30	6 634 221,08	21 184 345,16	0,950	646 610,79	105,63	34,65	110 017,74
85	0	0,861	21 378 540,35	7 007 213,94	22 497 622,86	0,950	715 484,38	112,25	36,59	110 019,18
90	0	0,866	22 638 191,47	7 451 971,62	23 833 161,64	0,950	790 167,27	118,87	38,90	110 020,11
95	0	0,871	23 897 841,70	7 861 621,06	25 157 740,83	0,950	867 938,43	125,48	41,03	110 021,29
100	0	0,875	25 157 377,06	8 303 646,27	26 492 341,57	0,950	950 608,16	132,10	43,32	110 022,24

Příloha A.4 Tabulka bez kompenzace na $\cos\varphi = -0,97$

$P_{VTE} (\%)$	$Q_{TUM} (VAR)$	$\cos\varphi_{VTE} (-)$	$P_{TUM} (W)$	$Q_{TUM} (VAR)$	$S_{TUM} (VA)$	$\cos\varphi_{PM} (-)$	$P_z (W)$	$I_c (A)$	$I_l (A)$	$U_{PM} (V)$
0	0	0,800	-55 820,50	-5 643 210,87	5 643 486,94	-0,010	53 885,84	-0,29	-29,61	110 041,05
5	0	0,800	1 206 913,69	-4 700 244,06	4 852 724,47	-0,249	53 546,36	6,33	-24,66	110 038,29
10	0	0,800	2 469 373,66	-3 757 042,27	4 495 906,24	-0,549	58 849,40	12,96	-19,71	110 035,53
15	0	0,800	3 731 559,41	-2 813 605,52	4 673 426,12	-0,798	69 794,98	19,58	-14,77	110 032,77
20	0	0,800	4 993 470,94	-1 869 933,80	5 332 110,69	-0,936	86 383,09	26,20	-9,82	110 030,01
25	0	0,839	6 254 413,92	-1 565 453,90	6 447 351,35	-0,970	104 348,99	32,81	-8,23	110 031,92
30	0	0,895	7 514 758,70	-1 884 884,79	7 747 540,83	-0,970	122 438,54	39,42	-9,91	110 038,39
35	0	0,931	8 775 305,51	-2 196 011,16	9 045 908,01	-0,970	144 406,02	46,03	-11,55	110 044,80
40	0	0,955	10 036 033,72	-2 524 599,18	10 348 699,14	-0,970	170 136,31	52,64	-13,28	110 051,33
45	0	0,970	11 296 980,06	-2 814 188,22	11 642 225,47	-0,970	199 840,90	59,25	-14,80	110 057,58
50	0	0,981	12 558 090,70	-3 165 321,62	12 950 864,95	-0,970	233 198,86	65,86	-16,65	110 064,29
55	0	0,988	13 819 411,76	-3 491 165,33	14 253 574,17	-0,970	270 486,02	72,47	-18,37	110 070,81
60	0	0,993	15 080 931,82	-3 796 149,17	15 551 374,64	-0,970	311 642,71	79,08	-19,98	110 077,18
65	0	0,995	16 342 641,80	-4 082 276,32	16 844 789,14	-0,970	356 625,47	85,69	-21,49	110 083,41
70	0	0,998	17 604 547,08	-4 409 440,43	18 148 367,50	-0,970	405 424,04	92,30	-23,22	110 089,95
75	0	0,999	18 866 648,95	-4 732 512,35	19 451 146,90	-0,970	458 071,99	98,91	-24,93	110 096,45
80	0	1,000	20 128 929,92	-5 021 424,08	20 745 807,27	-0,970	514 502,63	105,52	-26,46	110 102,71
85	0	1,000	21 391 428,60	-5 356 086,20	22 051 777,19	-0,970	574 853,92	112,13	-28,23	110 109,31
90	0	-1,000	22 654 101,54	-5 658 679,61	23 350 138,58	-0,970	638 963,57	118,74	-29,83	110 115,67
95	0	-1,000	23 917 045,97	-6 044 407,94	24 669 007,99	-0,970	707 236,61	125,35	-31,87	110 122,64
100	0	-1,000	25 180 033,27	-6 274 950,09	25 950 126,67	-0,970	778 697,40	131,96	-33,09	110 128,48

Příloha A.5 Tabulka bez kompenzace na $\cos\varphi = -0,95$

$P_{VTE} (\%)$	$Q_{TUM} (VAR)$	$\cos\varphi_{VTE} (-)$	$P_{TUM} (W)$	$Q_{TUM} (VAR)$	$S_{TUM} (VA)$	$\cos\varphi_{PM} (-)$	$P_z (W)$	$I_c (A)$	$I_l (A)$	$U_{PM} (V)$
0	0	0,800	-55 820,50	-5 643 210,87	5 643 486,94	-0,010	53 885,84	-0,29	-29,61	110 041,05
5	0	0,800	1 206 913,69	-4 700 244,06	4 852 724,47	-0,249	53 546,36	6,33	-24,66	110 038,29
10	0	0,800	2 469 373,66	-3 757 042,27	4 495 906,24	-0,549	58 849,40	12,96	-19,71	110 035,53
15	0	0,800	3 731 559,41	-2 813 605,52	4 673 426,12	-0,798	69 794,98	19,58	-14,77	110 032,77
20	0	0,800	4 993 470,94	-1 869 933,80	5 332 110,69	-0,936	86 383,09	26,20	-9,82	110 030,01
25	0	0,869	6 253 855,26	-2 064 311,72	6 585 748,89	-0,950	101 667,23	32,81	-10,84	110 035,56
30	0	0,922	7 514 180,29	-2 478 358,98	7 912 342,80	-0,950	119 741,24	39,42	-13,02	110 042,72
35	0	0,954	8 774 736,26	-2 882 808,80	9 236 156,29	-0,950	141 841,31	46,03	-15,15	110 049,81
40	0	0,974	10 035 495,26	-3 311 395,33	10 567 710,45	-0,950	167 873,23	52,64	-17,40	110 057,07
45	0	0,986	11 296 501,21	-3 704 721,40	11 888 477,62	-0,950	197 968,51	59,24	-19,47	110 064,08
50	0	0,993	12 557 707,31	-4 138 039,27	13 221 928,07	-0,950	232 018,56	65,85	-21,75	110 071,38
55	0	0,997	13 819 143,56	-4 565 360,00	14 553 736,31	-0,950	270 099,66	72,46	-24,00	110 078,64
60	0	0,999	15 080 807,92	-4 983 394,07	15 882 851,89	-0,950	312 188,78	79,07	-26,20	110 085,83
65	0	1,000	16 342 696,46	-5 377 030,18	17 204 539,55	-0,950	358 218,84	85,68	-28,28	110 092,85
70	0	-1,000	17 604 802,65	-5 772 895,54	18 527 153,03	-0,950	408 219,83	92,29	-30,36	110 099,88
75	0	-1,000	18 867 144,24	-6 229 057,97	19 868 827,22	-0,950	462 463,12	98,90	-32,77	110 107,36
80	0	-0,999	20 129 688,12	-6 608 507,61	21 186 710,85	-0,950	520 362,67	105,50	-34,77	110 114,28
85	0	-0,998	21 392 482,52	-7 052 778,83	22 525 097,06	-0,950	582 617,72	112,11	-37,11	110 121,67
90	0	-0,997	22 655 497,63	-7 481 303,58	23 858 781,95	-0,950	648 815,40	118,72	-39,37	110 128,95
95	0	-0,996	23 918 700,70	-7 863 503,83	25 178 144,01	-0,950	718 654,23	125,33	-41,39	110 135,89
100	0	-0,995	25 182 188,55	-8 316 319,95	26 519 875,52	-0,950	793 093,42	131,94	-43,78	110 143,35

Příloha A.6 Tabulka s fixní tlumivkou 5 MVar na $\cos\varphi= 1$

$P_{VTE} (\%)$	$Q_{TLUM} (VAr)$	$\cos\varphi_{VTE} (-)$	$P_{TLUM} (W)$	$Q_{TLUM} (VAr)$	$S_{TLUM} (VA)$	$\cos\varphi_{PM} (-)$	$P_z (W)$	$I_c (A)$	$I_l (A)$	$U_{PM} (V)$
0	5 000 000	0,800	-89 155,70	-663 009,63	668 977,22	-0,133	89 121,69	-0,47	-3,48	110 004,55
5	5 000 000	0,881	1 148 093,75	2 760,58	1 148 097,07	1,000	91 106,69	6,03	0,01	110 003,74
10	5 000 000	0,966	2 385 236,15	2 980,06	2 385 238,01	1,000	96 478,43	12,52	0,01	110 007,79
15	5 000 000	0,984	3 622 469,61	3 443,66	3 622 471,25	1,000	105 426,83	19,01	0,01	110 011,84
20	5 000 000	0,991	4 859 794,27	3 754,43	4 859 795,72	1,000	117 951,46	25,50	0,01	110 015,89
25	5 000 000	0,994	6 097 210,26	3 989,76	6 097 211,57	1,000	134 052,40	32,00	0,01	110 019,95
30	0	0,801	7 516 459,39	3 936,10	7 516 460,42	1,000	136 351,79	39,44	0,00	110 024,61
35	0	0,842	8 776 941,40	7 435,58	8 776 944,55	1,000	159 870,49	46,05	0,01	110 028,72
40	0	0,872	10 037 516,74	10 331,28	10 037 522,06	1,000	186 992,68	52,67	0,02	110 032,84
45	0	0,895	11 298 185,05	10 392,76	11 298 189,83	1,000	217 697,09	59,28	0,01	110 036,98
50	0	0,912	12 558 948,72	12 648,34	12 558 955,09	1,000	252 031,63	65,89	0,01	110 041,11
55	0	0,926	13 819 806,75	13 165,25	13 819 813,02	1,000	289 958,81	72,51	0,00	110 045,25
60	0	0,936	15 080 759,29	16 963,53	15 080 768,83	1,000	331 526,50	79,12	0,01	110 049,37
65	0	0,945	16 341 805,93	20 664,94	16 341 819,00	1,000	376 702,51	85,73	0,02	110 053,50
70	0	0,952	17 602 946,68	24 532,47	17 602 963,78	1,000	425 489,33	92,34	0,02	110 057,63
75	0	0,958	18 864 183,17	26 137,36	18 864 201,28	1,000	477 863,75	98,96	0,01	110 061,77
80	0	0,963	20 125 512,78	30 149,05	20 125 535,36	1,000	533 870,39	105,57	0,02	110 065,90
85	0	0,967	21 386 933,42	37 546,57	21 386 966,38	1,000	593 518,67	112,18	0,04	110 070,01
90	0	0,970	22 648 459,37	34 686,77	22 648 485,93	1,000	656 677,96	118,79	0,00	110 074,19
95	0	0,973	23 910 068,89	41 870,37	23 910 105,55	1,000	723 542,62	125,41	0,02	110 078,31
100	0	0,975	25 171 771,91	49 161,61	25 171 819,92	1,000	794 017,57	132,02	0,04	110 082,42

Příloha A.7 Tabulka s fixní tlumivkou 5 MVar na $\cos\varphi= 0,97$

P_{VTE} (%)	Q_{TUM} (VAr)	$\cos\varphi_{VTE}$ (-)	P_{TUM} (W)	Q_{TUM} (VAr)	S_{TUM} (VA)	$\cos\varphi_{PM}$ (-)	P_z (W)	I_c (A)	I_l (A)	U_{PM} (V)
0	5 000 000	0,800	-89 155,70	-663 009,63	668 977,22	-0,133	89 121,69	-0,47	-3,48	110 004,55
5	5 000 000	0,800	1 148 121,40	264 546,86	1 178 205,33	0,974	91 465,26	6,03	1,39	110 001,83
10	5 000 000	0,891	2 385 195,34	597 419,90	2 458 875,22	0,970	97 523,99	12,52	3,13	110 003,44
15	5 000 000	0,921	3 622 250,85	906 727,31	3 734 013,35	0,970	107 342,05	19,01	4,75	110 005,24
20	5 000 000	0,935	4 859 291,12	1 214 328,07	5 008 722,68	0,970	120 952,42	25,51	6,36	110 007,05
25	5 000 000	0,943	6 096 316,73	1 520 998,31	6 283 192,94	0,970	138 354,48	32,00	7,97	110 008,87
30	5 000 000	0,948	7 333 324,83	1 830 989,58	7 558 450,62	0,970	159 568,39	38,49	9,59	110 010,66
35	5 000 000	0,951	8 570 302,39	2 155 640,39	8 837 243,27	0,970	184 669,67	44,98	11,28	110 012,36
40	5 000 000	0,954	9 807 292,58	2 451 778,59	10 109 115,00	0,970	213 396,38	51,48	12,83	110 014,26
45	0	0,800	11 298 915,32	2 851 949,34	11 653 287,19	0,970	253 961,63	59,31	14,92	110 016,25
50	0	0,820	12 559 202,67	3 141 763,88	12 946 206,08	0,970	293 004,08	65,92	16,43	110 018,28
55	0	0,836	13 819 480,82	3 444 473,35	14 242 276,74	0,970	336 068,05	72,54	18,00	110 020,22
60	0	0,849	15 079 743,61	3 757 818,28	15 540 909,42	0,970	383 138,85	79,15	19,63	110 022,09
65	0	0,860	16 339 993,34	4 067 590,29	16 838 666,02	0,970	433 971,94	85,77	21,24	110 023,98
70	0	0,869	17 600 217,25	4 393 504,20	18 140 301,17	0,970	488 943,13	92,39	22,93	110 025,76
75	0	0,876	18 860 386,71	4 756 453,27	19 450 913,47	0,970	548 511,53	99,00	24,82	110 027,27
80	0	0,884	20 120 643,07	5 013 076,73	20 735 747,30	0,970	609 749,22	105,62	26,15	110 029,56
85	0	0,890	21 380 830,24	5 327 307,17	22 034 520,72	0,970	675 981,84	112,23	27,78	110 031,44
90	0	0,896	22 641 023,93	5 627 341,54	23 329 872,21	0,970	745 725,90	118,85	29,33	110 033,42
95	0	0,900	23 901 166,36	5 952 276,41	24 631 186,49	0,970	819 850,07	125,46	31,01	110 035,22
100	0	0,904	25 161 288,94	6 277 964,53	25 932 668,58	0,970	897 834,49	132,08	32,69	110 037,02

Příloha A.8 Tabulka s fixní tlumivkou 5 MVar na $\cos\varphi = 0,95$

P_{VTE} (%)	Q_{TLUM} (VAr)	$\cos\varphi_{VTE}$ (-)	P_{TLUM} (W)	Q_{TLUM} (VAr)	S_{TLUM} (VA)	$\cos\varphi_{PM}$ (-)	P_z (W)	I_c (A)	I_l (A)	U_{PM} (V)
0	5 000 000	0,800	-89 155,70	-663 009,63	668 977,22	-0,133	89 121,69	-0,47	-3,48	110 004,55
5	5 000 000	0,800	1 148 121,40	264 546,86	1 178 205,33	0,974	91 465,26	6,03	1,39	110 001,83
10	5 000 000	0,863	2 385 178,09	785 110,77	2 511 070,17	0,950	98 025,67	12,52	4,12	110 002,07
15	5 000 000	0,895	3 622 173,20	1 186 635,64	3 811 593,21	0,950	108 322,55	19,01	6,22	110 003,19
20	5 000 000	0,910	4 859 116,29	1 591 958,19	5 113 251,61	0,950	122 589,36	25,51	8,35	110 004,29
25	5 000 000	0,918	6 095 999,27	2 010 276,71	6 418 911,08	0,950	140 889,01	32,00	10,54	110 005,29
30	5 000 000	0,924	7 332 841,07	2 410 866,07	7 718 991,73	0,950	163 052,31	38,49	12,63	110 006,43
35	5 000 000	0,928	8 569 627,63	2 817 014,90	9 020 758,87	0,950	189 206,03	44,99	14,76	110 007,53
40	5 000 000	0,931	9 806 364,28	3 221 949,16	10 322 099,44	0,950	219 307,12	51,48	16,87	110 008,64
45	5 000 000	0,933	11 043 034,46	3 637 928,88	11 626 828,31	0,950	253 468,28	57,97	19,04	110 009,67
50	5 000 000	0,935	12 279 675,93	4 037 630,93	12 926 442,06	0,950	291 433,89	64,47	21,13	110 010,82
55	0	0,806	13 819 231,80	4 525 921,61	14 541 496,96	0,950	356 151,78	72,55	23,68	110 012,33
60	0	0,818	15 079 229,77	4 980 231,50	15 880 361,34	0,950	406 905,57	79,17	26,05	110 013,17
65	0	0,829	16 339 182,44	5 398 644,76	17 207 970,48	0,950	460 950,09	85,78	28,23	110 014,27
70	0	0,839	17 599 103,24	5 789 976,85	18 527 068,49	0,950	518 382,14	92,40	30,26	110 015,57
75	0	0,847	18 858 947,38	6 212 846,97	19 855 965,45	0,950	580 510,16	99,02	32,46	110 016,65
80	0	0,854	20 118 737,30	6 634 221,08	21 184 345,16	0,950	646 610,79	105,63	34,65	110 017,74
85	0	0,861	21 378 540,35	7 007 213,94	22 497 622,86	0,950	715 484,38	112,25	36,59	110 019,18
90	0	0,866	22 638 191,47	7 451 971,62	23 833 161,64	0,950	790 167,27	118,87	38,90	110 020,11
95	0	0,871	23 897 841,70	7 861 621,06	25 157 740,83	0,950	867 938,43	125,48	41,03	110 021,29
100	0	0,875	25 157 377,06	8 303 646,27	26 492 341,57	0,950	950 608,16	132,10	43,32	110 022,24

Příloha A.9 Tabulka s fixní tlumivkou 5 MVar na $\cos\varphi = -0,97$

P_{VTE} (%)	Q_{TLUM} (VAr)	$\cos\varphi_{VTE}$ (-)	P_{TLUM} (W)	Q_{TLUM} (VAr)	S_{TLUM} (VA)	$\cos\varphi_{PM}$ (-)	P_Z (W)	I_c (A)	I_l (A)	U_{PM} (V)
0	5 000 000	0,800	-89 155,70	-663 009,63	668 977,22	-0,133	89 121,69	-0,47	-3,48	110 004,55
5	5 000 000	0,957	1 148 058,22	-288 285,35	1 183 700,18	-0,970	90 896,07	6,03	-1,51	110 005,86
10	5 000 000	1,000	2 385 255,93	-593 375,61	2 457 954,53	-0,970	96 259,24	12,52	-3,12	110 012,15
15	5 000 000	-0,998	3 622 642,27	-915 483,65	3 736 528,78	-0,970	105 434,63	19,01	-4,81	110 018,55
20	5 000 000	-0,994	4 860 210,35	-1 207 664,29	5 008 003,36	-0,970	118 375,57	25,50	-6,34	110 024,74
25	0	0,839	6 254 413,92	-1 565 453,90	6 447 351,35	-0,970	104 348,99	32,81	-8,23	110 031,92
30	0	0,895	7 514 758,70	-1 884 884,79	7 747 540,83	-0,970	122 438,54	39,42	-9,91	110 038,39
35	0	0,931	8 775 305,51	-2 196 011,16	9 045 908,01	-0,970	144 406,02	46,03	-11,55	110 044,80
40	0	0,955	10 036 033,72	-2 524 599,18	10 348 699,14	-0,970	170 136,31	52,64	-13,28	110 051,33
45	0	0,970	11 296 980,06	-2 814 188,22	11 642 225,47	-0,970	199 840,90	59,25	-14,80	110 057,58
50	0	0,981	12 558 090,70	-3 165 321,62	12 950 864,95	-0,970	233 198,86	65,86	-16,65	110 064,29
55	0	0,988	13 819 411,76	-3 491 165,33	14 253 574,17	-0,970	270 486,02	72,47	-18,37	110 070,81
60	0	0,993	15 080 931,82	-3 796 149,17	15 551 374,64	-0,970	311 642,71	79,08	-19,98	110 077,18
65	0	0,995	16 342 641,80	-4 082 276,32	16 844 789,14	-0,970	356 625,47	85,69	-21,49	110 083,41
70	0	0,998	17 604 547,08	-4 409 440,43	18 148 367,50	-0,970	405 424,04	92,30	-23,22	110 089,95
75	0	0,999	18 866 648,95	-4 732 512,35	19 451 146,90	-0,970	458 071,99	98,91	-24,93	110 096,45
80	0	1,000	20 128 929,92	-5 021 424,08	20 745 807,27	-0,970	514 502,63	105,52	-26,46	110 102,71
85	0	1,000	21 391 428,60	-5 356 086,20	22 051 777,19	-0,970	574 853,92	112,13	-28,23	110 109,31
90	0	-1,000	22 654 101,54	-5 658 679,61	23 350 138,58	-0,970	638 963,57	118,74	-29,83	110 115,67
95	0	-1,000	23 917 045,97	-6 044 407,94	24 669 007,99	-0,970	707 236,61	125,35	-31,87	110 122,64
100	0	-1,000	25 180 033,27	-6 274 950,09	25 950 126,67	-0,970	778 697,40	131,96	-33,09	110 128,48

Příloha A.10 Tabulka s fixní tlumivkou 5 MVar na $\cos\varphi = -0,95$

P_{VTE} (%)	Q_{TLUM} (VAr)	$\cos\varphi_{VTE}$ (-)	P_{TLUM} (W)	Q_{TLUM} (VAr)	S_{TLUM} (VA)	$\cos\varphi_{PM}$ (-)	P_Z (W)	I_c (A)	I_l (A)	U_{PM} (V)
0	5 000 000	0,800	-89 155,70	-663 009,63	668 977,22	-0,133	89 121,69	-0,47	-3,48	110 004,55
5	5 000 000	0,974	1 148 046,59	-375 537,57	1 207 907,04	-0,950	90 871,50	6,03	-1,97	110 006,50
10	5 000 000	-0,999	2 385 257,79	-784 728,50	2 511 026,40	-0,950	96 364,99	12,52	-4,12	110 013,54
15	5 000 000	-0,990	3 622 684,42	-1 192 246,38	3 813 829,29	-0,950	105 823,47	19,01	-6,26	110 020,57
20	5 000 000	-0,983	4 860 326,76	-1 601 419,24	5 117 354,77	-0,950	119 251,42	25,50	-8,41	110 027,62
25	0	0,869	6 253 855,26	-2 064 311,72	6 585 748,89	-0,950	101 667,23	32,81	-10,84	110 035,56
30	0	0,922	7 514 180,29	-2 478 358,98	7 912 342,80	-0,950	119 741,24	39,42	-13,02	110 042,72
35	0	0,954	8 774 736,26	-2 882 808,80	9 236 156,29	-0,950	141 841,31	46,03	-15,15	110 049,81
40	0	0,974	10 035 495,26	-3 311 395,33	10 567 710,45	-0,950	167 873,23	52,64	-17,40	110 057,07
45	0	0,986	11 296 501,21	-3 704 721,40	11 888 477,62	-0,950	197 968,51	59,24	-19,47	110 064,08
50	0	0,993	12 557 707,31	-4 138 039,27	13 221 928,07	-0,950	232 018,56	65,85	-21,75	110 071,38
55	0	0,997	13 819 143,56	-4 565 360,00	14 553 736,31	-0,950	270 099,66	72,46	-24,00	110 078,64
60	0	0,999	15 080 807,92	-4 983 394,07	15 882 851,89	-0,950	312 188,78	79,07	-26,20	110 085,83
65	0	1,000	16 342 696,46	-5 377 030,18	17 204 539,55	-0,950	358 218,84	85,68	-28,28	110 092,85
70	0	-1,000	17 604 802,65	-5 772 895,54	18 527 153,03	-0,950	408 219,83	92,29	-30,36	110 099,88
75	0	-1,000	18 867 144,24	-6 229 057,97	19 868 827,22	-0,950	462 463,12	98,90	-32,77	110 107,36
80	0	-0,999	20 129 688,12	-6 608 507,61	21 186 710,85	-0,950	520 362,67	105,50	-34,77	110 114,28
85	0	-0,998	21 392 482,52	-7 052 778,83	22 525 097,06	-0,950	582 617,72	112,11	-37,11	110 121,67
90	0	-0,997	22 655 497,63	-7 481 303,58	23 858 781,95	-0,950	648 815,40	118,72	-39,37	110 128,95
95	0	-0,996	23 918 700,70	-7 863 503,83	25 178 144,01	-0,950	718 654,23	125,33	-41,39	110 135,89
100	0	-0,995	25 182 188,55	-8 316 319,95	26 519 875,52	-0,950	793 093,42	131,94	-43,78	110 143,35

Příloha A.11 Tabulka s laditelnou tlumivkou 600 kVAr - 6 MVar na $\cos\phi = 1$

P_{VTE} (%)	Q_{TLUM} (VAr)	$\cos\phi_{VTE}$ (-)	P_{TLUM} (W)	Q_{TLUM} (VAr)	S_{TLUM} (VA)	$\cos\phi_{PM}$ (-)	P_z (W)	I_c (A)	I_l (A)	U_{PM} (V)
0	5 680 000	0,800	-94 888,20	114,69	94 888,27	1,000	94 888,21	-0,50	0,00	109 999,69
5	4 800 000	0,821	1 150 741,79	930,32	1 150 742,17	1,000	89 606,76	6,04	0,00	110 003,76
10	3 800 000	0,803	2 406 595,36	1 196,73	2 406 595,66	1,000	88 471,05	12,63	0,00	110 007,87
15	2 900 000	0,807	3 669 474,82	2 368,82	3 669 475,59	1,000	92 985,36	19,26	0,01	110 012,00
20	2 000 000	0,809	4 940 788,53	2 406,20	4 940 789,12	1,000	102 437,74	25,93	0,00	110 016,17
25	1 000 000	0,804	6 223 833,59	3 963,91	6 223 834,85	1,000	116 748,64	32,66	0,01	110 020,36
30	0	0,801	7 516 459,39	3 936,10	7 516 460,42	1,000	136 351,79	39,44	0,00	110 024,61
35	0	0,842	8 776 941,40	7 435,58	8 776 944,55	1,000	159 870,49	46,05	0,01	110 028,72
40	0	0,872	10 037 516,74	10 331,28	10 037 522,06	1,000	186 992,68	52,67	0,02	110 032,84
45	0	0,895	11 298 185,05	10 392,76	11 298 189,83	1,000	217 697,09	59,28	0,01	110 036,98
50	0	0,912	12 558 948,72	12 648,34	12 558 955,09	1,000	252 031,63	65,89	0,01	110 041,11
55	0	0,926	13 819 806,75	13 165,25	13 819 813,02	1,000	289 958,81	72,51	0,00	110 045,25
60	0	0,936	15 080 759,29	16 963,53	15 080 768,83	1,000	331 526,50	79,12	0,01	110 049,37
65	0	0,945	16 341 805,93	20 664,94	16 341 819,00	1,000	376 702,51	85,73	0,02	110 053,50
70	0	0,952	17 602 946,68	24 532,47	17 602 963,78	1,000	425 489,33	92,34	0,02	110 057,63
75	0	0,958	18 864 183,17	26 137,36	18 864 201,28	1,000	477 863,75	98,96	0,01	110 061,77
80	0	0,963	20 125 512,78	30 149,05	20 125 535,36	1,000	533 870,39	105,57	0,02	110 065,90
85	0	0,967	21 386 933,42	37 546,57	21 386 966,38	1,000	593 518,67	112,18	0,04	110 070,01
90	0	0,970	22 648 459,37	34 686,77	22 648 485,93	1,000	656 677,96	118,79	0,00	110 074,19
95	0	0,973	23 910 068,89	41 870,37	23 910 105,55	1,000	723 542,62	125,41	0,02	110 078,31
100	0	0,975	25 171 771,91	49 161,61	25 171 819,92	1,000	794 017,57	132,02	0,04	110 082,42

Příloha A.12 Tabulka s laditelnou tlumivkou 600 kVAr - 6 MVar na $\cos\phi = 0,97$

P_{VTE} (%)	Q_{TLUM} (VAr)	$\cos\phi_{VTE}$ (-)	P_{TLUM} (W)	Q_{TLUM} (VAr)	S_{TLUM} (VA)	$\cos\phi_{PM}$ (-)	P_z (W)	I_c (A)	I_l (A)	U_{PM} (V)
0	5 704 500	0,800	-95 099,87	23 944,61	98 067,98	0,970	95 100,13	-0,50	0,13	109 999,51
5	5 100 000	0,823	1 146 792,17	288 032,69	1 182 410,72	0,970	92 229,23	6,02	1,51	110 001,65
10	4 400 000	0,801	2 395 962,12	601 636,52	2 470 344,30	0,970	93 856,71	12,58	3,16	110 003,45
15	3 800 000	0,804	3 649 357,56	914 108,18	3 762 101,06	0,970	101 248,81	19,15	4,79	110 005,27
20	3 200 000	0,805	4 908 348,10	1 234 209,26	5 061 141,53	0,970	113 744,14	25,76	6,47	110 007,06
25	2 500 000	0,800	6 176 193,76	1 548 414,74	6 367 335,20	0,970	131 172,02	32,42	8,11	110 008,93
30	1 900 000	0,801	7 446 970,55	1 877 436,86	7 679 983,05	0,970	154 081,22	39,09	9,83	110 010,70
35	1 400 000	0,807	8 719 261,76	2 185 304,46	8 988 942,17	0,970	181 652,66	45,77	11,44	110 012,63
40	600 000	0,800	10 010 384,67	2 499 570,51	10 317 734,92	0,970	215 169,90	52,54	13,08	110 014,58
45	0	0,800	11 298 915,32	2 851 949,34	11 653 287,19	0,970	253 961,63	59,31	14,92	110 016,25
50	0	0,820	12 559 202,67	3 141 763,88	12 946 206,08	0,970	293 004,08	65,92	16,43	110 018,28
55	0	0,836	13 819 480,82	3 444 473,35	14 242 276,74	0,970	336 068,05	72,54	18,00	110 020,22
60	0	0,849	15 079 743,61	3 757 818,28	15 540 909,42	0,970	383 138,85	79,15	19,63	110 022,09
65	0	0,860	16 339 993,34	4 067 590,29	16 838 666,02	0,970	433 971,94	85,77	21,24	110 023,98
70	0	0,869	17 600 217,25	4 393 504,20	18 140 301,17	0,970	488 943,13	92,39	22,93	110 025,76
75	0	0,876	18 860 386,71	4 756 453,27	19 450 913,47	0,970	548 511,53	99,00	24,82	110 027,27
80	0	0,884	20 120 643,07	5 013 076,73	20 735 747,30	0,970	609 749,22	105,62	26,15	110 029,56
85	0	0,890	21 380 830,24	5 327 307,17	22 034 520,72	0,970	675 981,84	112,23	27,78	110 031,44
90	0	0,896	22 641 023,93	5 627 341,54	23 329 872,21	0,970	745 725,90	118,85	29,33	110 033,42
95	0	0,900	23 901 166,36	5 952 276,41	24 631 186,49	0,970	819 850,07	125,46	31,01	110 035,22
100	0	0,904	25 161 288,94	6 277 964,53	25 932 668,58	0,970	897 834,49	132,08	32,69	110 037,02

Příloha A.13 Tabulka s laditelnou tlumivkou 600 kVAr - 6 MVar na $\cos\phi = 0,95$

P_{VTE} (%)	Q_{TLUM} (VAr)	$\cos\phi_{VTE}$ (-)	P_{TLUM} (W)	Q_{TLUM} (VAr)	S_{TLUM} (VA)	$\cos\phi_{PM}$ (-)	P_Z (W)	I_c (A)	I_l (A)	U_{PM} (V)
0	5 712 000	0,800	-95 164,73	31 238,63	100 160,76	0,950	95 165,07	-0,50	0,16	109 999,46
5	5 150 000	0,810	1 146 131,08	378 495,12	1 207 010,77	0,950	92 740,12	6,02	1,99	110 000,99
10	4 600 000	0,802	2 392 373,66	790 225,59	2 519 505,55	0,950	95 653,09	12,56	4,15	110 002,06
15	4 100 000	0,805	3 642 557,83	1 197 296,54	3 834 285,67	0,950	103 992,21	19,12	6,28	110 003,18
20	3 550 000	0,802	4 898 750,02	1 615 150,65	5 158 145,35	0,950	117 359,10	25,71	8,47	110 004,25
25	3 000 000	0,801	6 160 081,49	2 021 539,15	6 483 303,52	0,950	135 899,91	32,34	10,59	110 005,42
30	2 500 000	0,802	7 424 727,11	2 445 761,86	7 817 181,31	0,950	159 845,11	38,97	12,81	110 006,48
35	2 000 000	0,803	8 694 088,70	2 864 888,17	9 153 947,92	0,950	188 878,83	45,64	15,01	110 007,59
40	1 400 000	0,800	9 972 879,56	3 285 370,59	10 500 094,60	0,950	223 449,63	52,35	17,20	110 008,72
45	900 000	0,801	11 252 245,24	3 707 391,57	11 847 268,68	0,950	262 971,86	59,07	19,41	110 009,85
50	500 000	0,805	12 530 734,61	4 124 126,43	13 191 956,97	0,950	306 870,78	65,78	21,58	110 011,02
55	0	0,806	13 819 231,80	4 525 921,61	14 541 496,96	0,950	356 151,78	72,55	23,68	110 012,33
60	0	0,818	15 079 229,77	4 980 231,50	15 880 361,34	0,950	406 905,57	79,17	26,05	110 013,17
65	0	0,829	16 339 182,44	5 398 644,76	17 207 970,48	0,950	460 950,09	85,78	28,23	110 014,27
70	0	0,839	17 599 103,24	5 789 976,85	18 527 068,49	0,950	518 382,14	92,40	30,26	110 015,57
75	0	0,847	18 858 947,38	6 212 846,97	19 855 965,45	0,950	580 510,16	99,02	32,46	110 016,65
80	0	0,854	20 118 737,30	6 634 221,08	21 184 345,16	0,950	646 610,79	105,63	34,65	110 017,74
85	0	0,861	21 378 540,35	7 007 213,94	22 497 622,86	0,950	715 484,38	112,25	36,59	110 019,18
90	0	0,866	22 638 191,47	7 451 971,62	23 833 161,64	0,950	790 167,27	118,87	38,90	110 020,11
95	0	0,871	23 897 841,70	7 861 621,06	25 157 740,83	0,950	867 938,43	125,48	41,03	110 021,29
100	0	0,875	25 157 377,06	8 303 646,27	26 492 341,57	0,950	950 608,16	132,10	43,32	110 022,24

Příloha A.14 Tabulka s laditelnou tlumivkou 600 kVAr - 6 MVar na $\cos\varphi = -0,97$

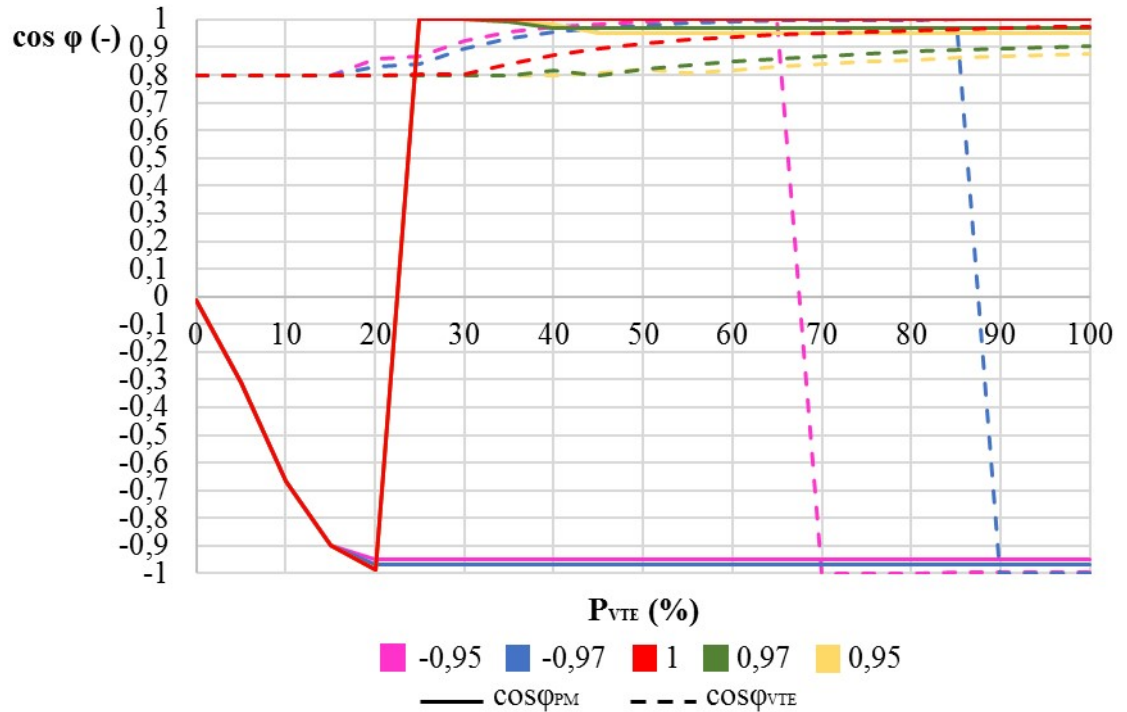
$P_{VTE} (\%)$	$Q_{TLUM} (VAr)$	$\cos\varphi_{VTE} (-)$	$P_{TLUM} (W)$	$Q_{TLUM} (VAr)$	$S_{TLUM} (VA)$	$\cos\varphi_{PM} (-)$	$P_z (W)$	$I_c (A)$	$I_l (A)$	$U_{PM} (V)$
0	5 655 500	-1,000	-94 676,90	-23 719,53	97 602,92	-0,970	94 676,56	-0,50	-0,12	109 999,86
5	5 400 000	-1,000	1 142 808,80	-286 176,43	1 178 095,45	-0,970	94 284,27	6,00	-1,50	110 005,83
10	5 100 000	-1,000	2 383 502,99	-600 556,09	2 457 997,99	-0,970	97 137,45	12,51	-3,15	110 012,19
15	5 000 000	-0,998	3 622 642,27	-915 483,65	3 736 528,78	-0,970	105 434,63	19,01	-4,81	110 018,55
20	4 600 000	-1,000	4 870 759,99	-1 212 138,57	5 019 320,95	-0,970	114 635,59	25,56	-6,37	110 024,81
25	4 200 000	-1,000	6 122 629,53	-1 536 455,68	6 312 470,86	-0,970	127 523,87	32,12	-8,07	110 031,28
30	4 000 000	-1,000	7 371 181,52	-1 856 589,17	7 601 397,27	-0,970	145 862,95	38,67	-9,76	110 037,71
35	3 500 000	-1,000	8 633 679,92	-2 179 150,77	8 904 444,23	-0,970	165 173,92	45,29	-11,46	110 044,21
40	3 200 000	-1,000	9 891 976,91	-2 482 319,39	10 198 682,10	-0,970	189 912,09	51,89	-13,05	110 050,55
45	2 900 000	-1,000	11 153 175,95	-2 807 041,52	11 500 991,95	-0,970	218 357,53	58,50	-14,76	110 057,06
50	2 500 000	-1,000	12 422 648,81	-3 135 060,31	12 812 135,13	-0,970	249 622,01	65,15	-16,49	110 063,62
55	2 200 000	-1,000	13 690 118,68	-3 435 095,98	14 114 504,38	-0,970	285 389,78	71,79	-18,08	110 069,97
60	1 900 000	-1,000	14 960 514,07	-3 735 877,19	15 419 914,38	-0,970	324 845,99	78,45	-19,66	110 076,34
65	1 600 000	-1,000	16 233 845,11	-4 037 406,79	16 728 370,53	-0,970	367 997,45	85,12	-21,26	110 082,73
70	1 300 000	-1,000	17 510 171,76	-4 418 319,04	18 059 004,91	-0,970	415 061,89	91,81	-23,27	110 089,70
75	900 000	-1,000	18 797 121,98	-4 744 188,08	19 386 570,49	-0,970	464 867,44	98,55	-24,99	110 096,31
80	600 000	-1,000	20 079 799,50	-5 048 256,67	20 704 667,18	-0,970	519 173,27	105,26	-26,60	110 102,75
85	600 000	-1,000	21 339 540,11	-5 350 097,76	21 999 989,05	-0,970	579 703,08	111,86	-28,19	110 109,10
90	0	-1,000	22 654 101,54	-5 658 679,61	23 350 138,58	-0,970	638 963,57	118,74	-29,83	110 115,67
95	0	-1,000	23 917 045,97	-6 044 407,94	24 669 007,99	-0,970	707 236,61	125,35	-31,87	110 122,64
100	0	-1,000	25 180 033,27	-6 274 950,09	25 950 126,67	-0,970	778 697,40	131,96	-33,09	110 128,48

Příloha A.15 Tabulka s laditelnou tlumivkou 600 kVAr - 6 MVar na $\cos\varphi = -0,95$

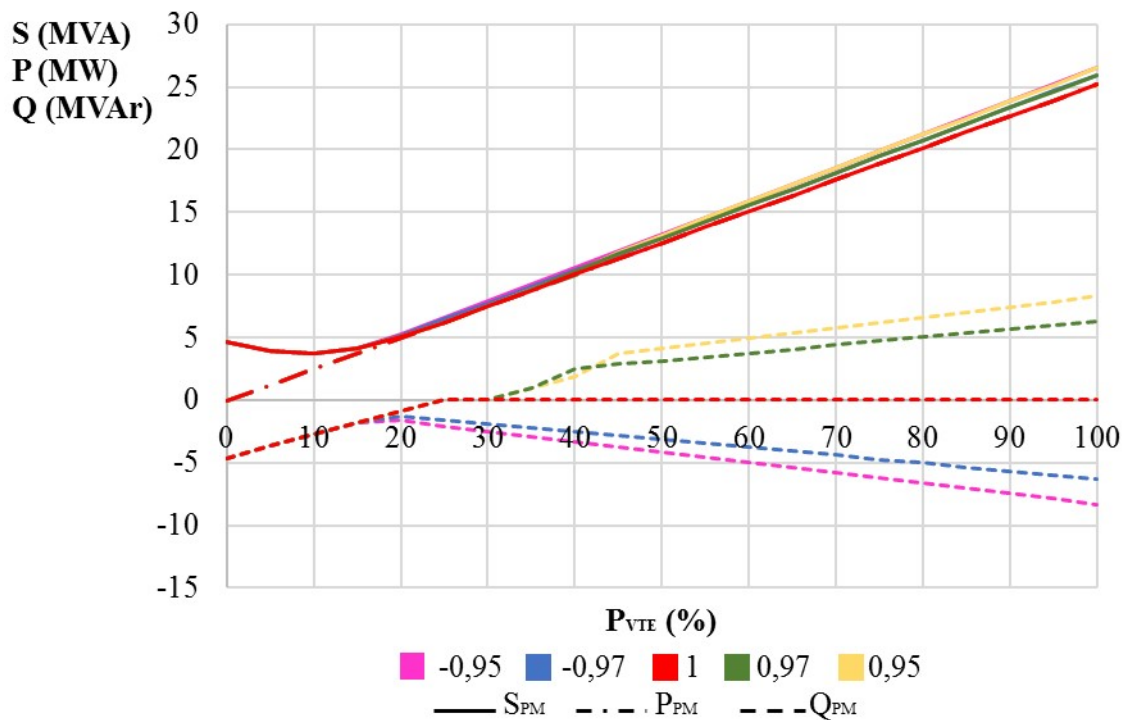
$P_{VTE} (\%)$	$Q_{TLUM} (VAr)$	$\cos\varphi_{VTE} (-)$	$P_{TLUM} (W)$	$Q_{TLUM} (VAr)$	$S_{TLUM} (VA)$	$\cos\varphi_{PM} (-)$	$P_z (W)$	$I_c (A)$	$I_l (A)$	$U_{PM} (V)$
0	5 647 900	-1,000	-94 611,42	-31 113,88	99 596,16	-0,950	94 610,97	-0,50	-0,16	109 999,92
5	5 300 000	-1,000	1 144 116,02	-378 015,45	1 204 946,95	-0,950	93 434,78	6,00	-1,98	110 006,51
10	5 000 000	-0,999	2 385 257,79	-784 728,50	2 511 026,40	-0,950	96 364,99	12,52	-4,12	110 013,54
15	4 500 000	-1,000	3 633 627,55	-1 190 869,79	3 823 796,55	-0,950	101 184,37	19,07	-6,25	110 020,60
20	4 100 000	-1,000	4 883 996,01	-1 601 810,44	5 139 962,42	-0,950	110 580,37	25,63	-8,41	110 027,70
25	4 000 000	-0,998	6 128 878,33	-2 019 152,71	6 452 916,18	-0,950	126 429,69	32,15	-10,61	110 034,83
30	3 200 000	-1,000	7 399 582,60	-2 438 167,59	7 790 923,17	-0,950	139 587,74	38,82	-12,81	110 042,05
35	2 800 000	-1,000	8 661 748,91	-2 836 250,42	9 114 286,07	-0,950	160 059,82	45,43	-14,90	110 049,10
40	2 400 000	-1,000	9 927 734,94	-3 280 411,74	10 455 669,38	-0,950	184 334,12	52,07	-17,24	110 056,49
45	2 000 000	-1,000	11 197 555,15	-3 686 880,76	11 788 907,12	-0,950	212 263,06	58,73	-19,38	110 063,62
50	1 600 000	-1,000	12 471 228,00	-4 094 736,01	13 126 248,17	-0,950	243 925,62	65,40	-21,52	110 070,78
55	1 100 000	-1,000	13 754 615,58	-4 543 320,39	14 485 551,77	-0,950	278 569,87	72,12	-23,89	110 078,27
60	700 000	-1,000	15 036 515,20	-4 948 596,18	15 829 889,25	-0,950	317 726,35	78,84	-26,02	110 085,43
65	600 000	-1,000	16 301 998,89	-5 377 427,32	17 166 009,80	-0,950	363 361,69	85,47	-28,28	110 092,72
70	0	-1,000	17 604 802,65	-5 772 895,54	18 527 153,03	-0,950	408 219,83	92,29	-30,36	110 099,88
75	0	-1,000	18 867 144,24	-6 229 057,97	19 868 827,22	-0,950	462 463,12	98,90	-32,77	110 107,36
80	0	-0,999	20 129 688,12	-6 608 507,61	21 186 710,85	-0,950	520 362,67	105,50	-34,77	110 114,28
85	0	-0,998	21 392 482,52	-7 052 778,83	22 525 097,06	-0,950	582 617,72	112,11	-37,11	110 121,67
90	0	-0,997	22 655 497,63	-7 481 303,58	23 858 781,95	-0,950	648 815,40	118,72	-39,37	110 128,95
95	0	-0,996	23 918 700,70	-7 863 503,83	25 178 144,01	-0,950	718 654,23	125,33	-41,39	110 135,89
100	0	-0,995	25 182 188,55	-8 316 319,95	26 519 875,52	-0,950	793 093,42	131,94	-43,78	110 143,35

Příloha B.1 Grafy kompenzace fixní tlumivkou, 1 MVar

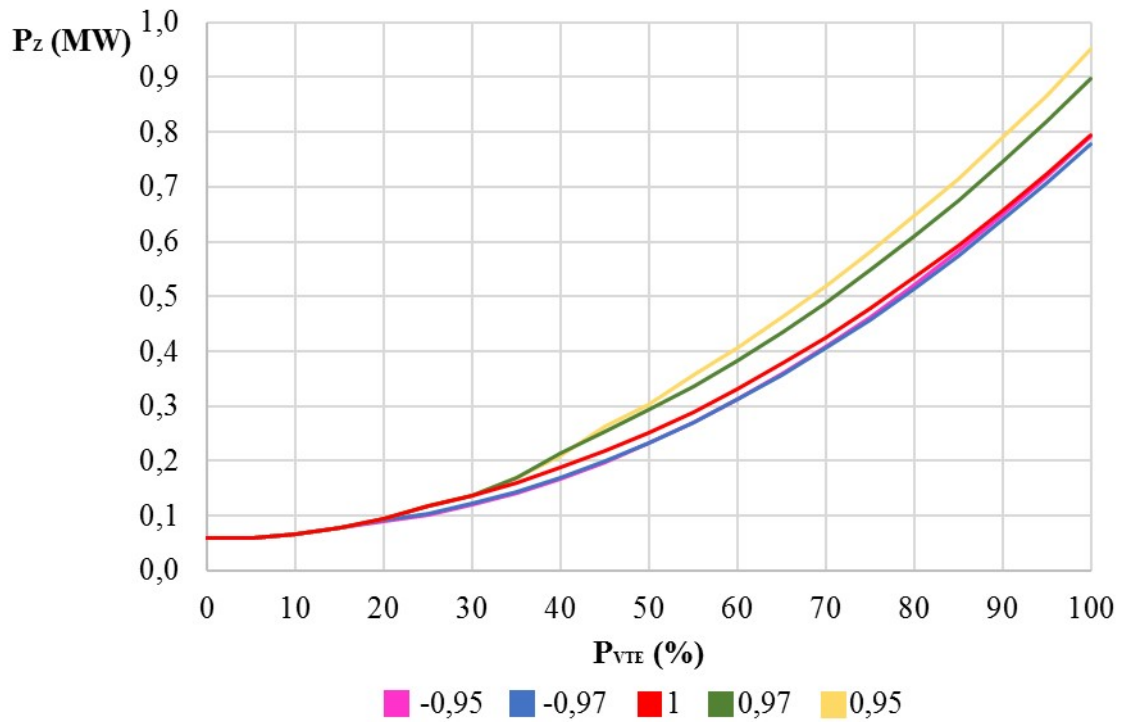
- Účinitk v závislosti na výkonu VTE



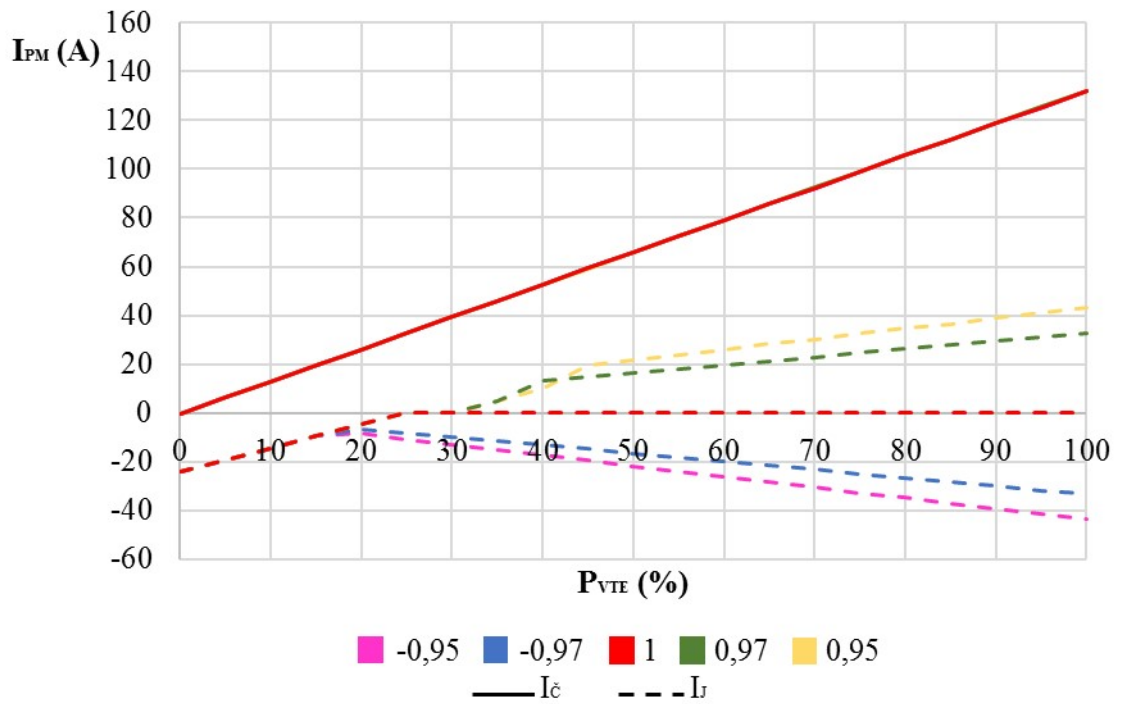
- Výkony v závislosti na výkonu VTE



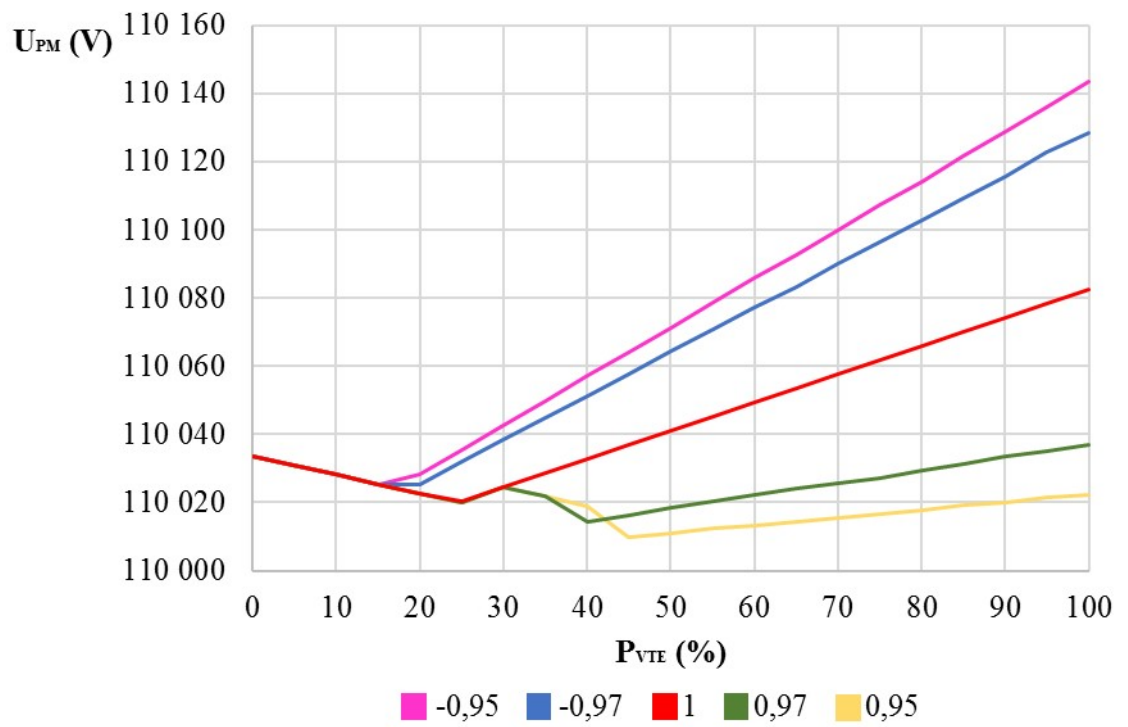
- **Ztráty v závislosti na výkonu VTE**



- **Proudy v závislosti na výkonu VTE**

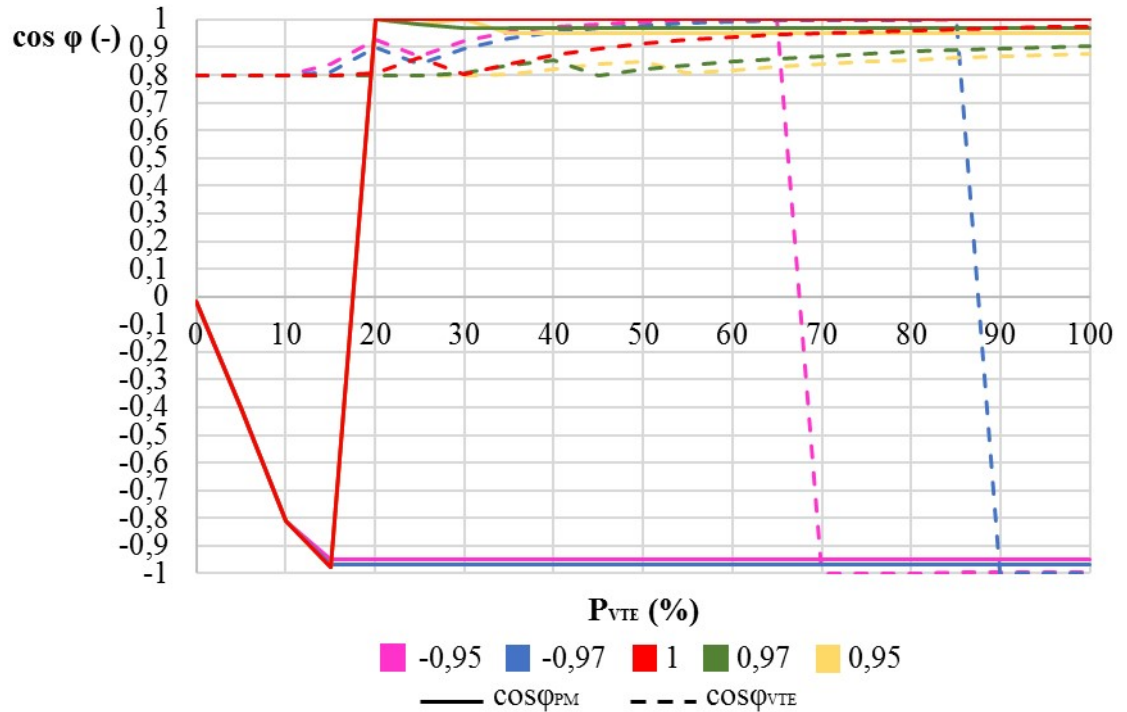


- *Napětí v závislosti na výkonu VTE*

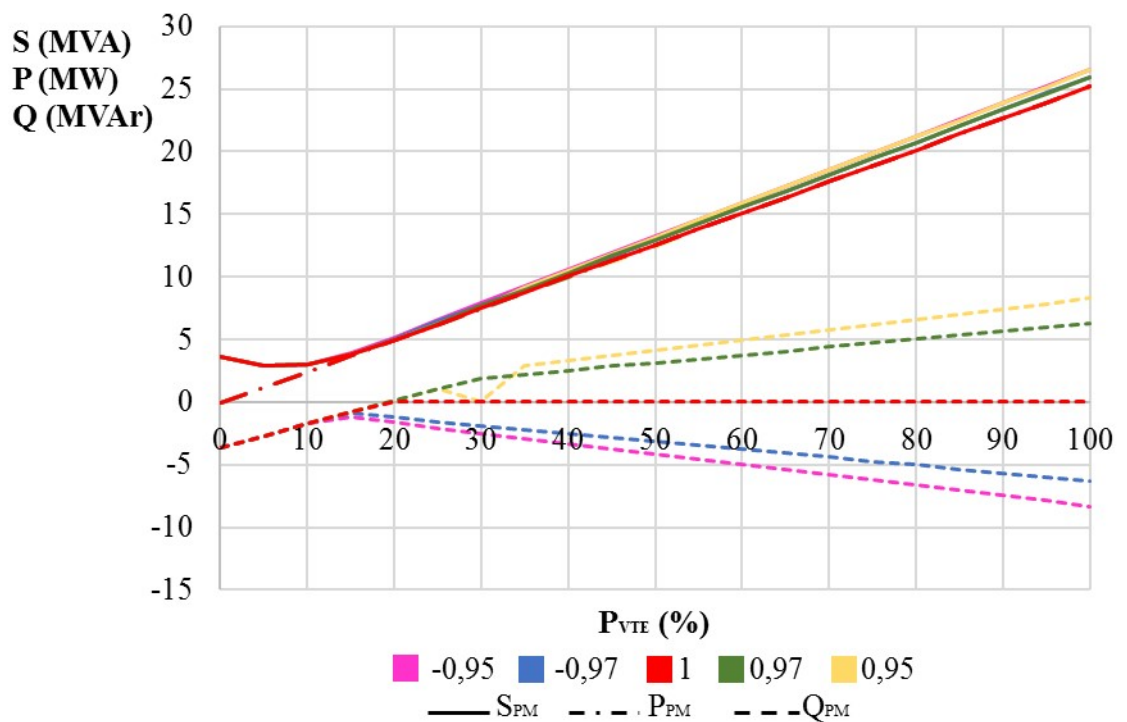


Příloha B.2 Grafy kompenzace fixní tlumivkou, 2 MVar

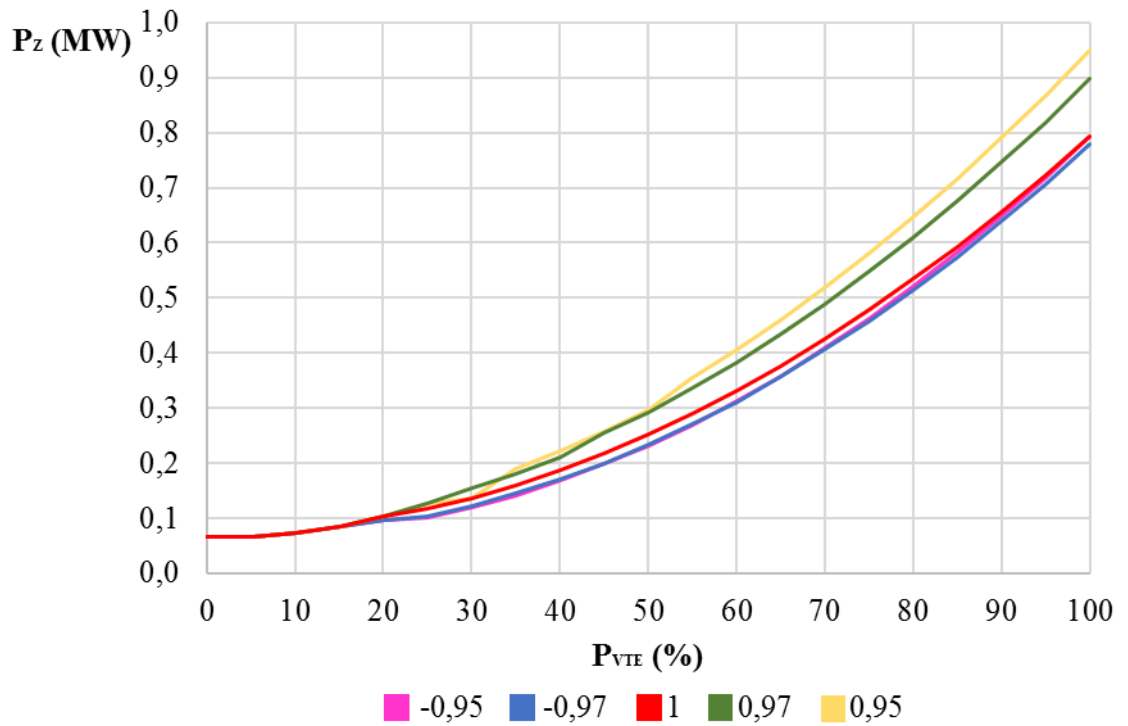
- Účinitk v závislosti na výkonu VTE



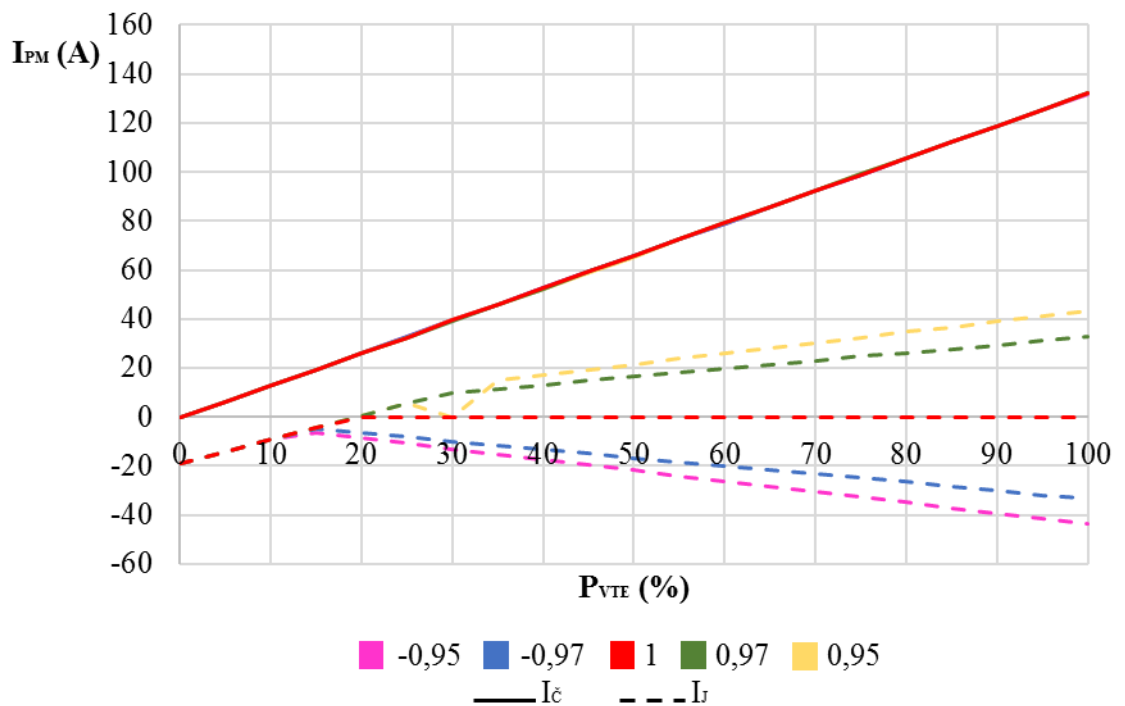
- Výkony v závislosti na výkonu VTE



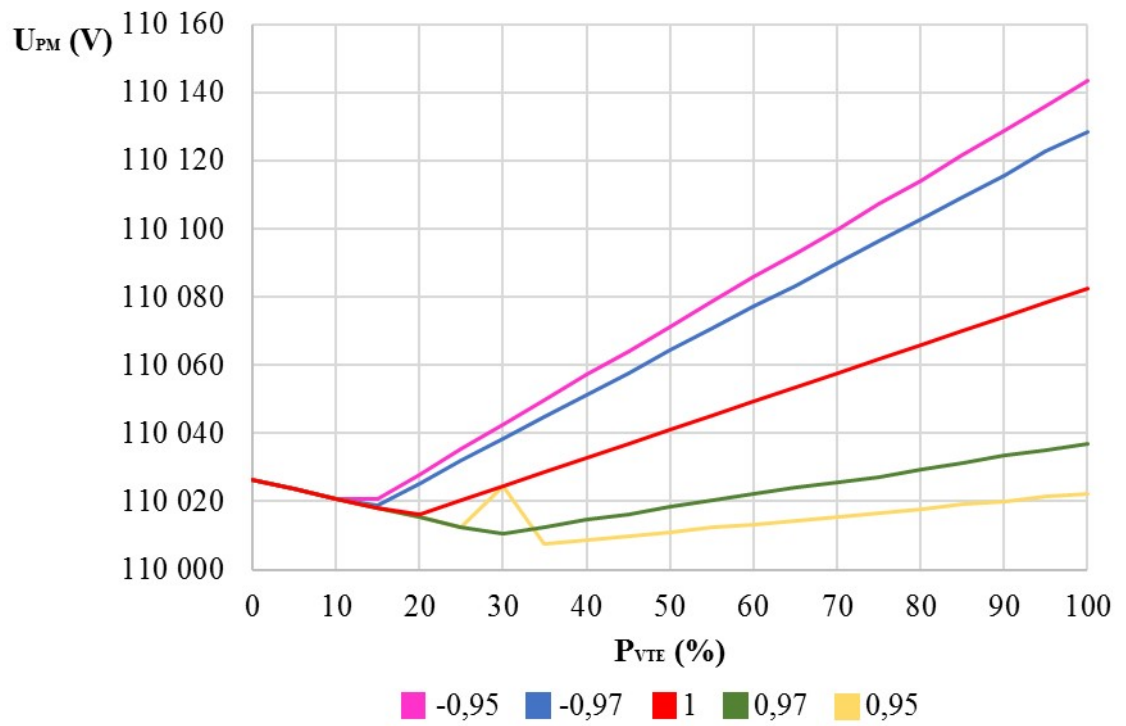
- **Ztráty v závislosti na výkonu VTE**



- **Proudy v závislosti na výkonu VTE**

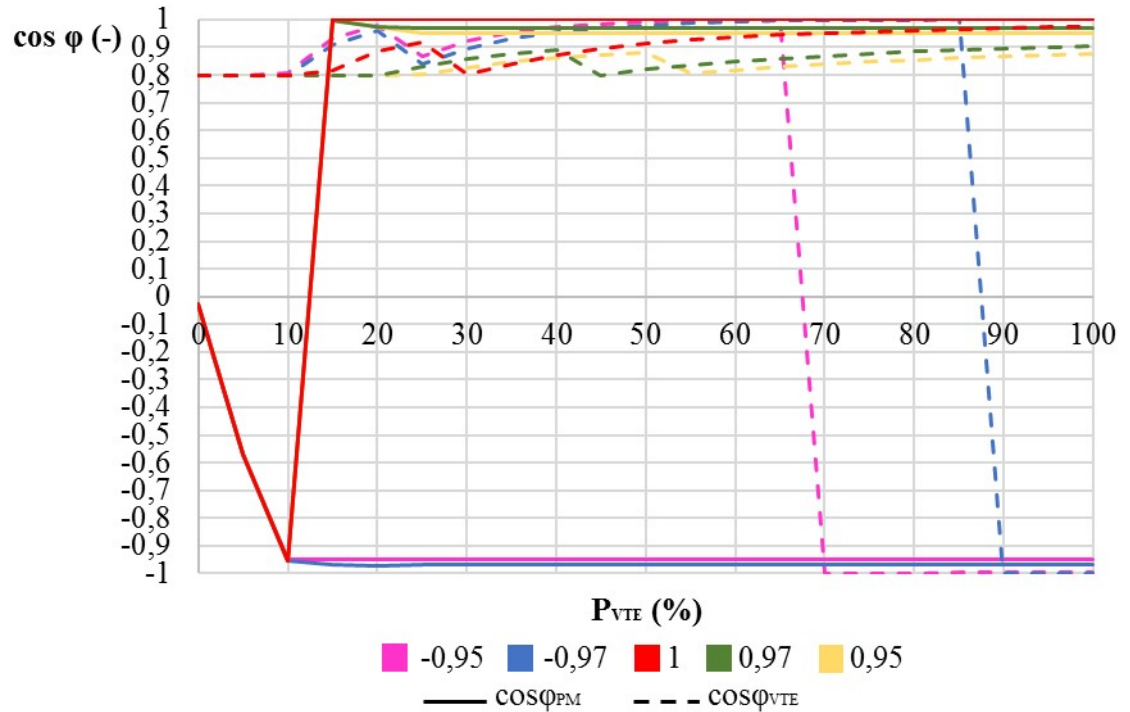


- **Napětí v závislosti na výkonu VTE**

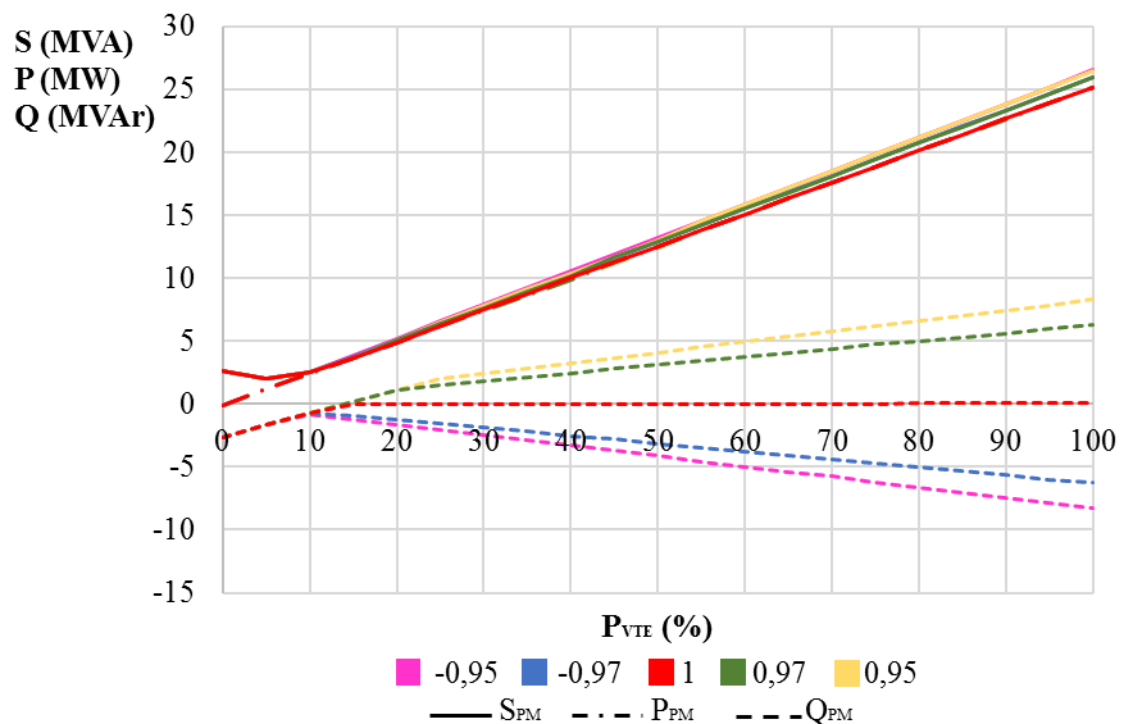


Příloha B.3 Grafy kompenzace fixní tlumivkou, 3 MVar

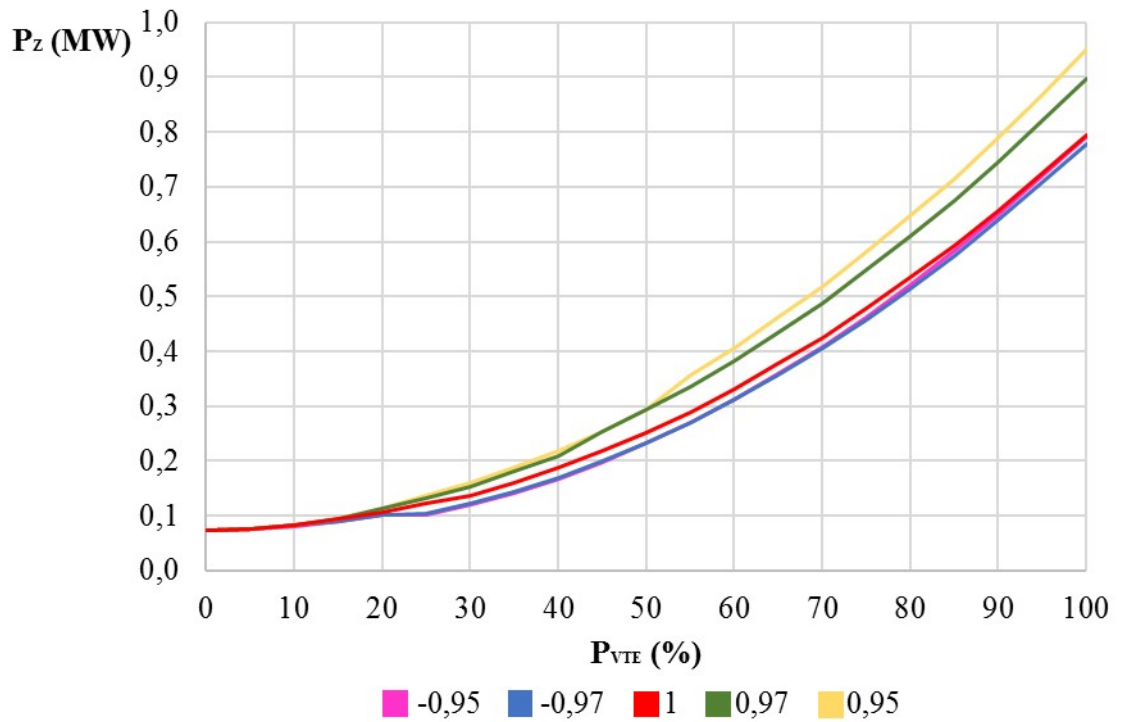
- Účinník v závislosti na výkonu VTE



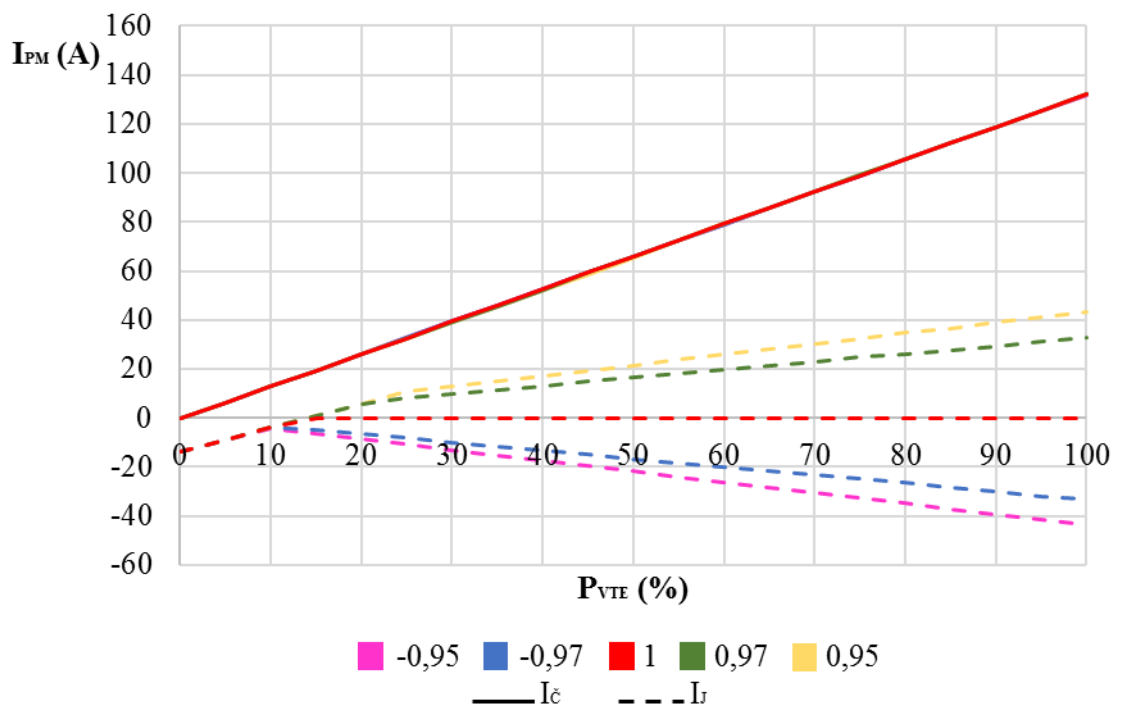
- Výkony v závislosti na výkonu VTE



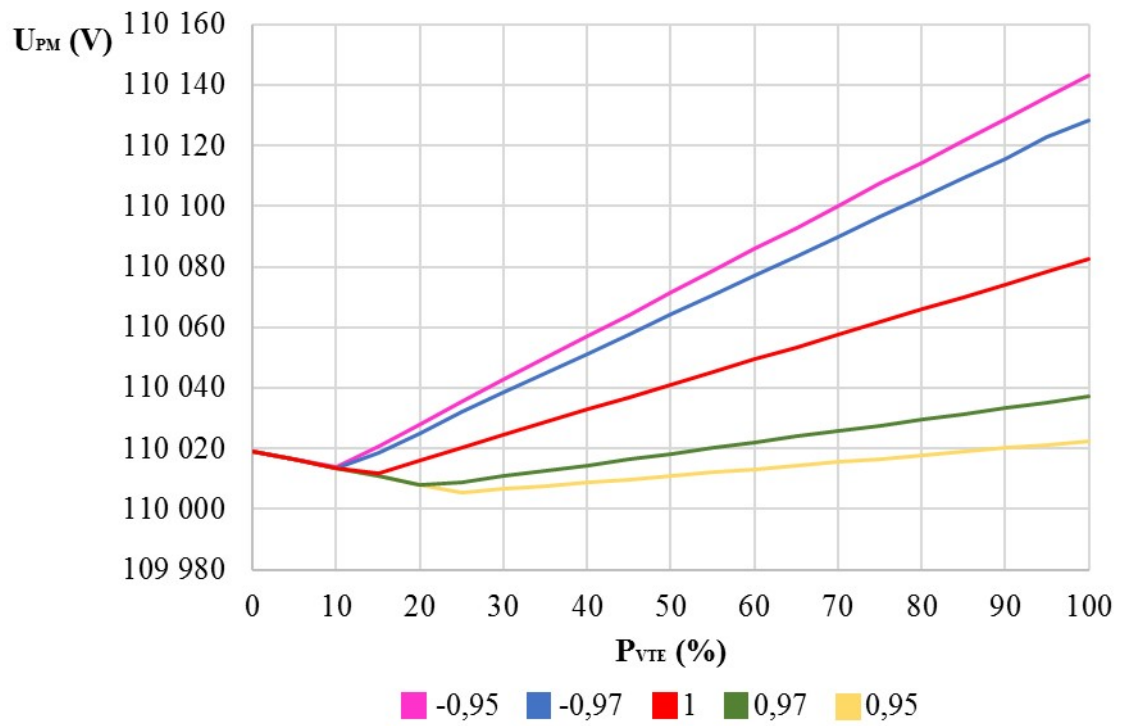
- **Ztráty v závislosti na výkonu VTE**



- **Proudy v závislosti na výkonu VTE**

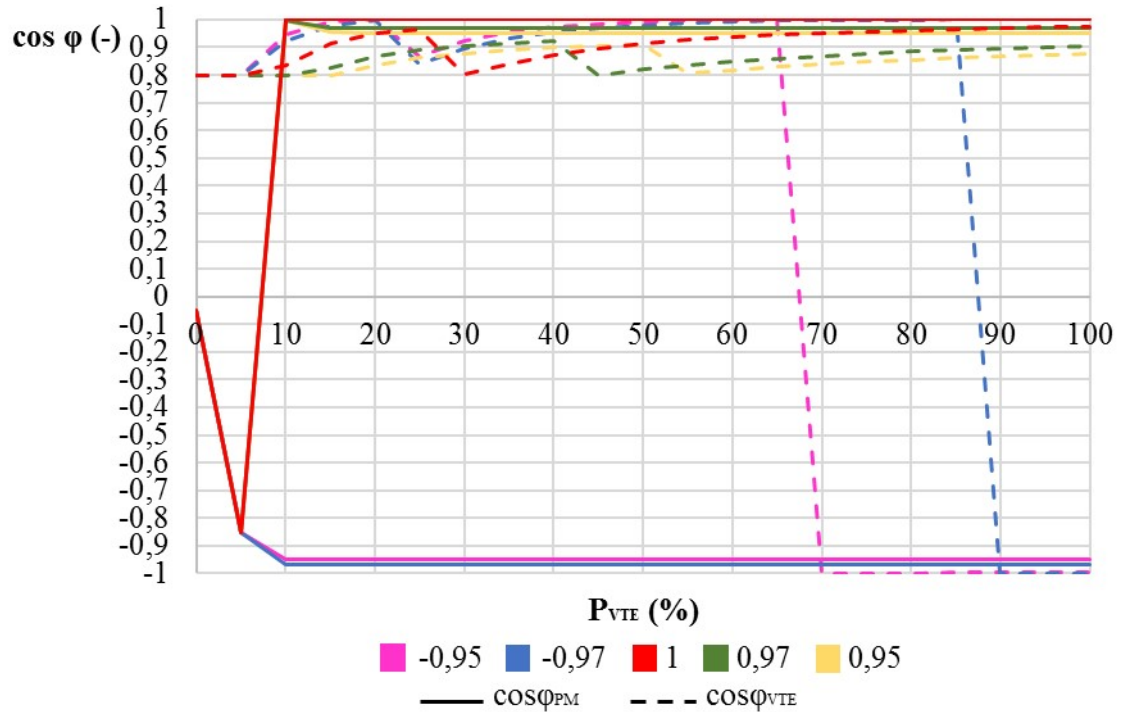


- **Napětí v závislosti na výkonu VTE**

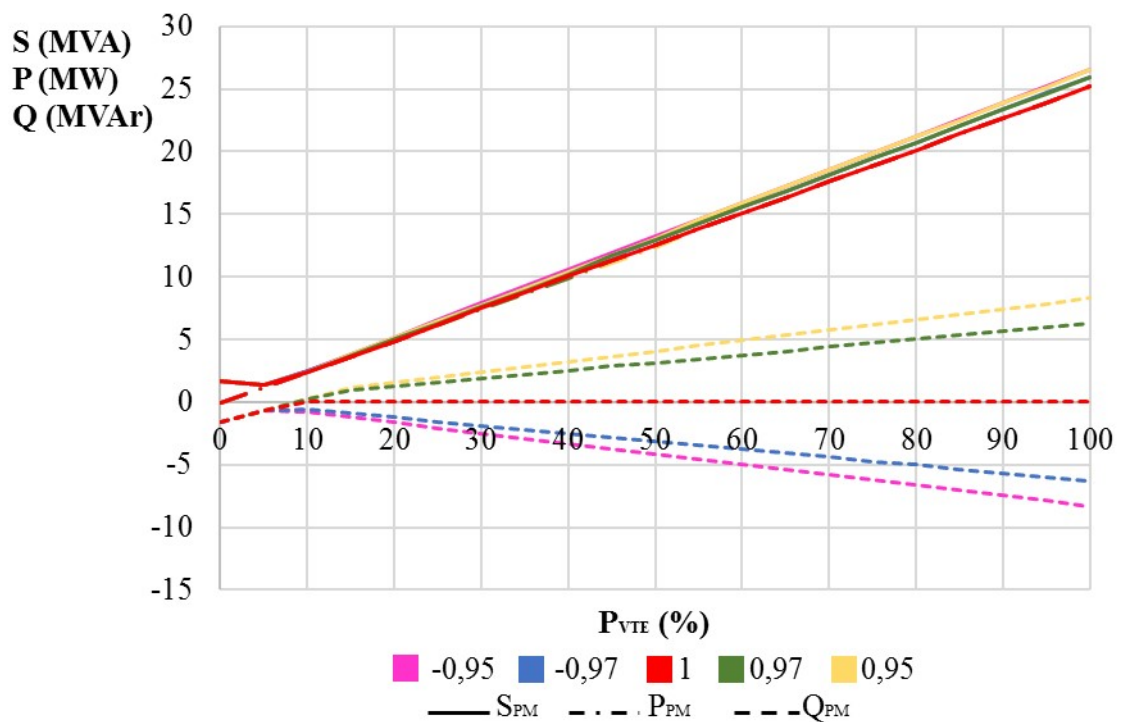


Příloha B.4 Grafy kompenzace fixní tlumivkou, 4 MVar

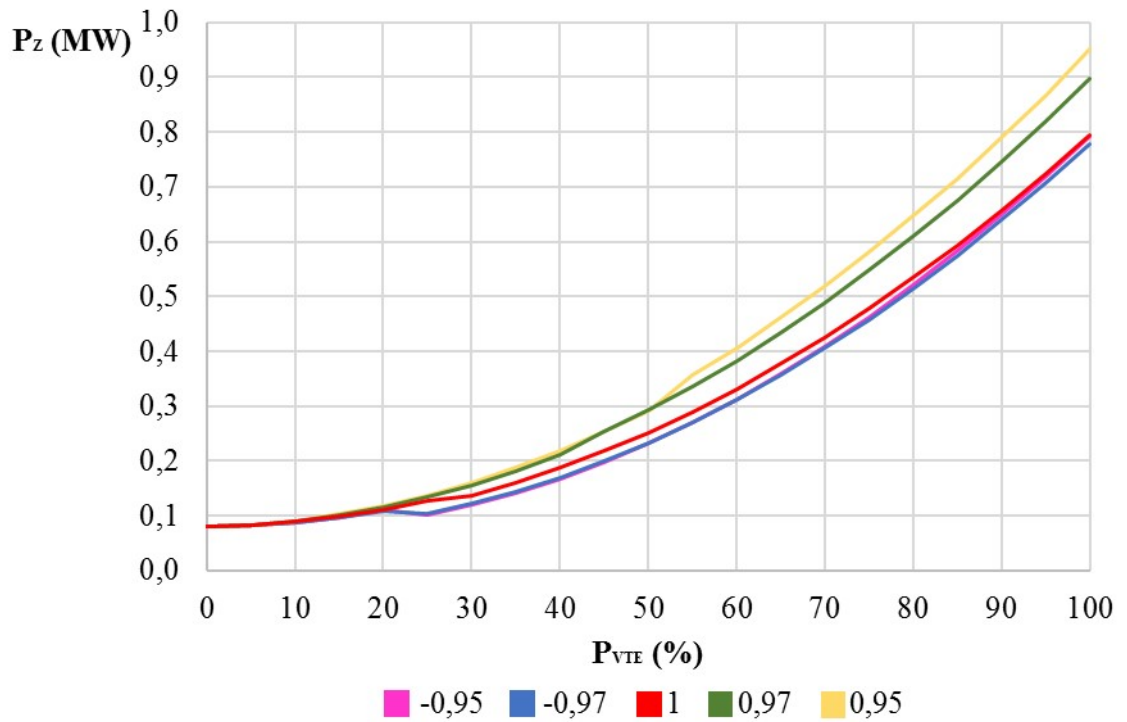
- Účinník v závislosti na výkonu VTE



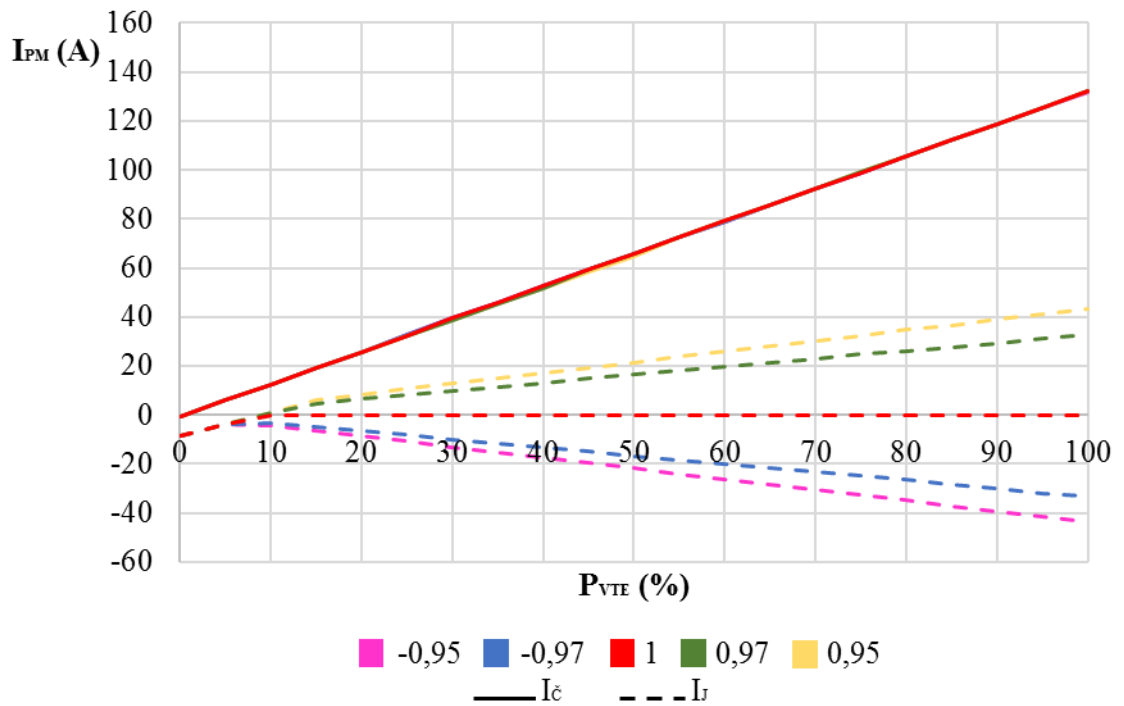
- Výkony v závislosti na výkonu VTE



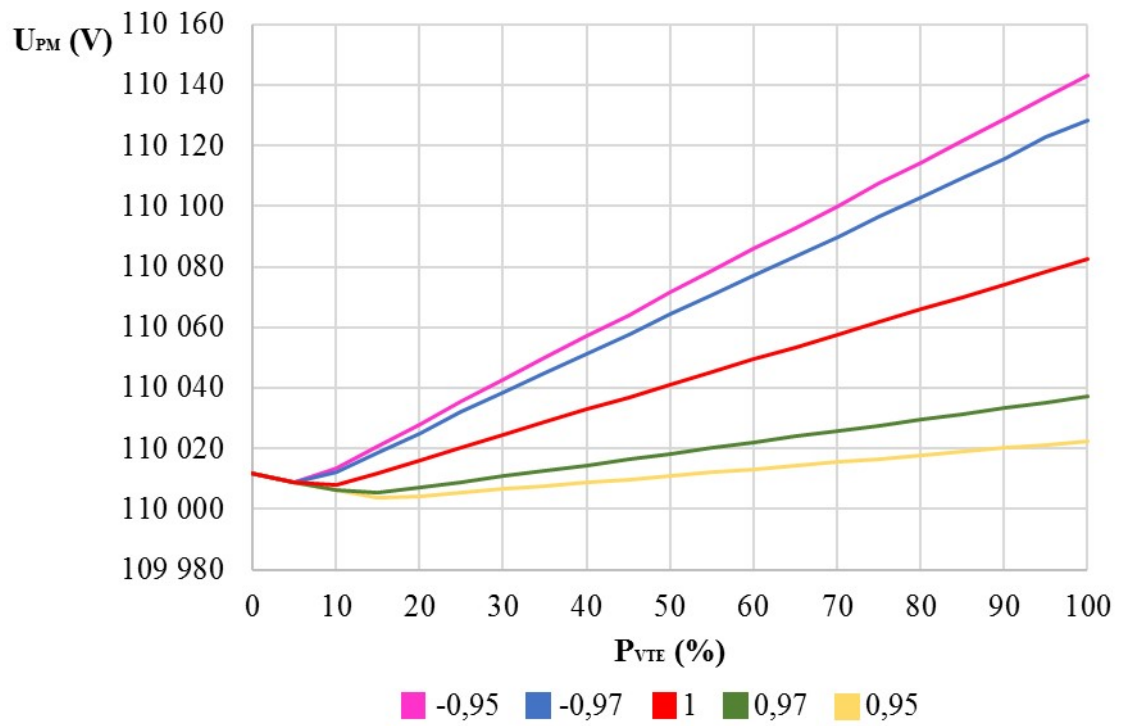
- **Ztráty v závislosti na výkonu VTE**



- **Proudy v závislosti na výkonu VTE**

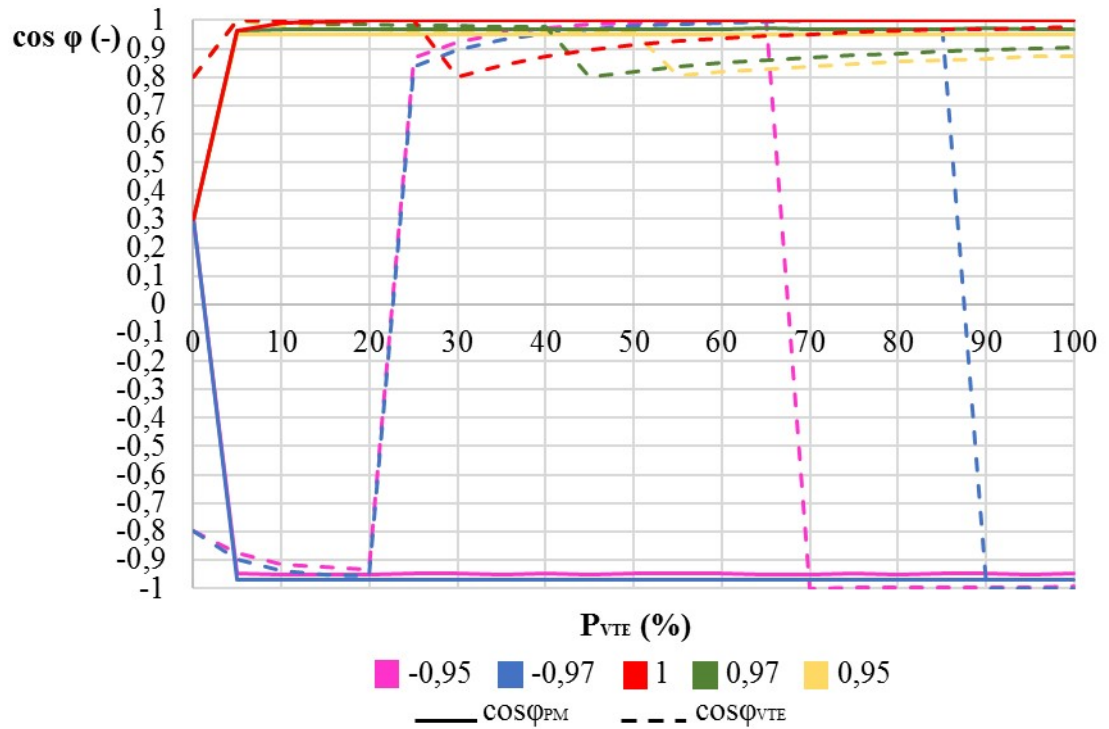


- **Napětí v závislosti na výkonu VTE**

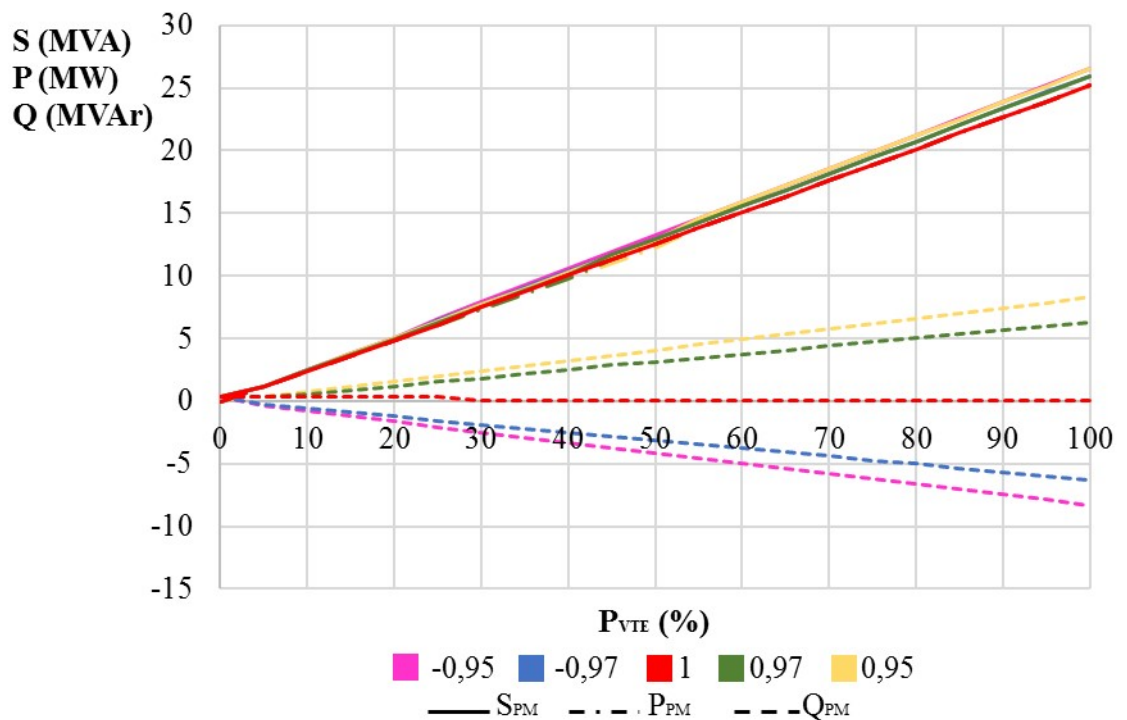


Příloha B.5 Grafy kompenzace fixní tlumivkou, 6 MVar

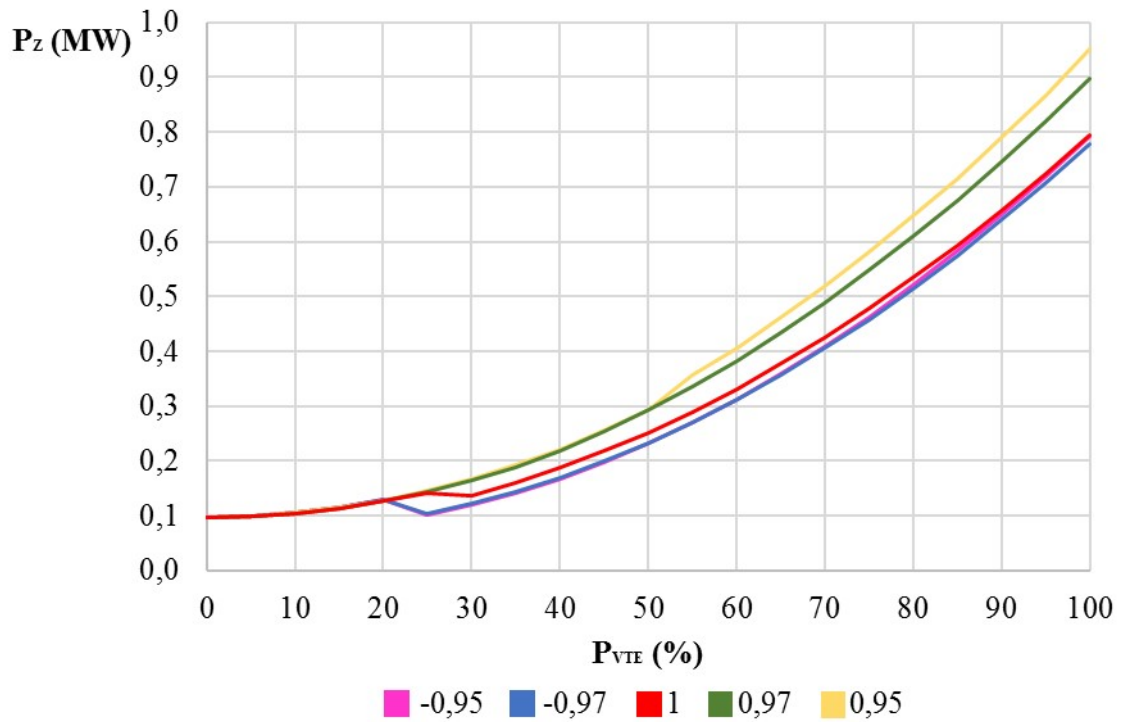
- Účinník v závislosti na výkonu VTE



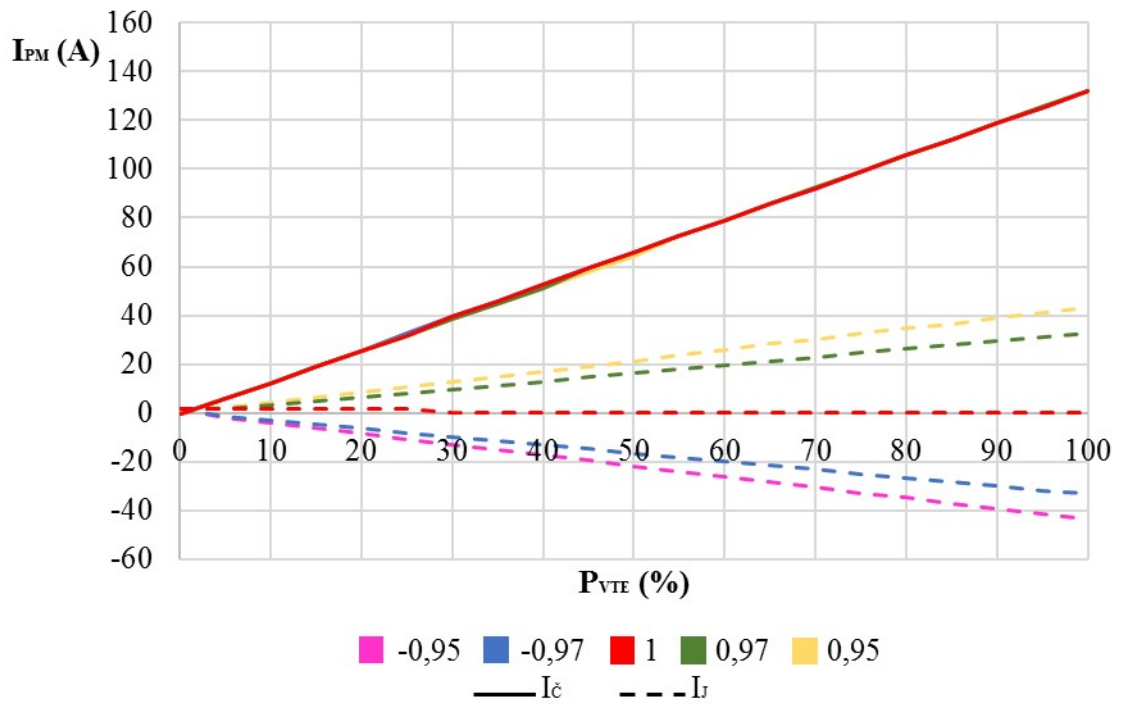
- Výkony v závislosti na výkonu VTE



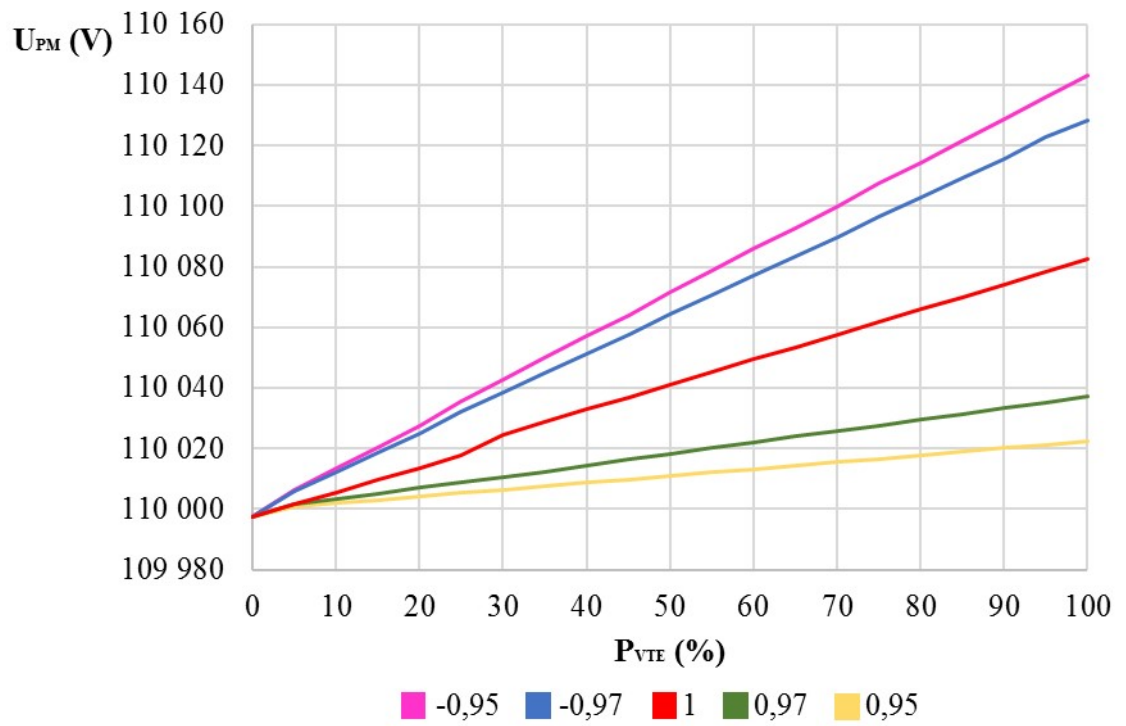
- **Ztráty v závislosti na výkonu VTE**



- **Proudy v závislosti na výkonu VTE**

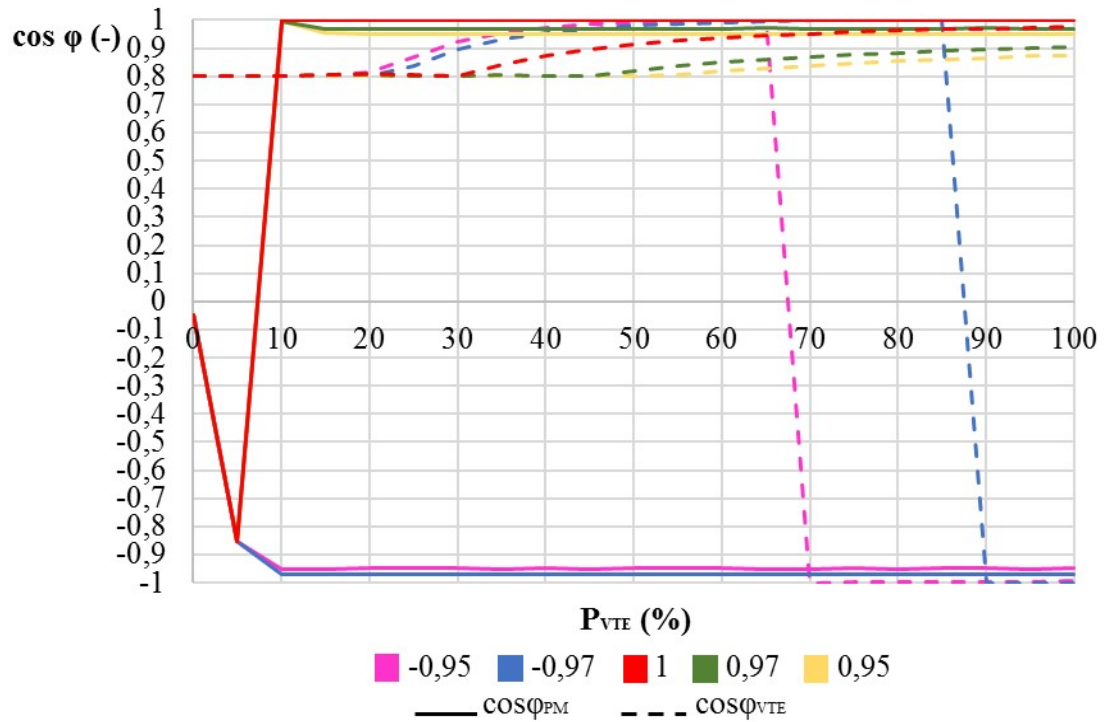


- **Napětí v závislosti na výkonu VTE**

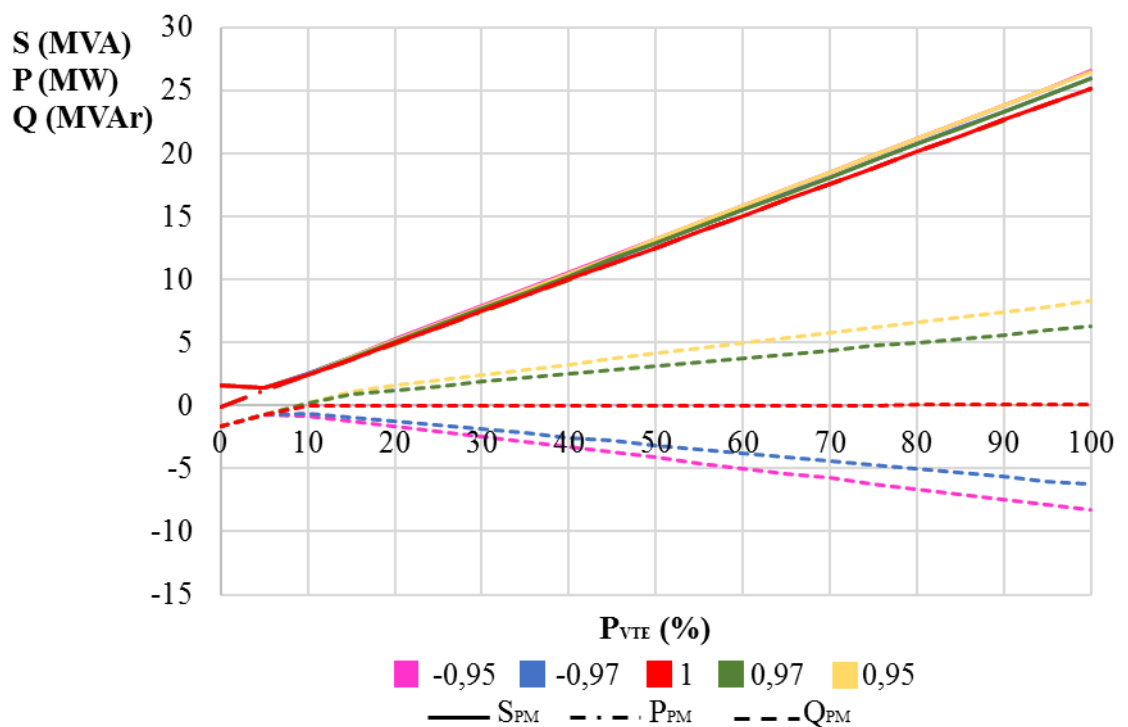


Příloha B.6 Grafy kompenzace laditelnou tlumivkou, 400 kVAr - 4 MVar

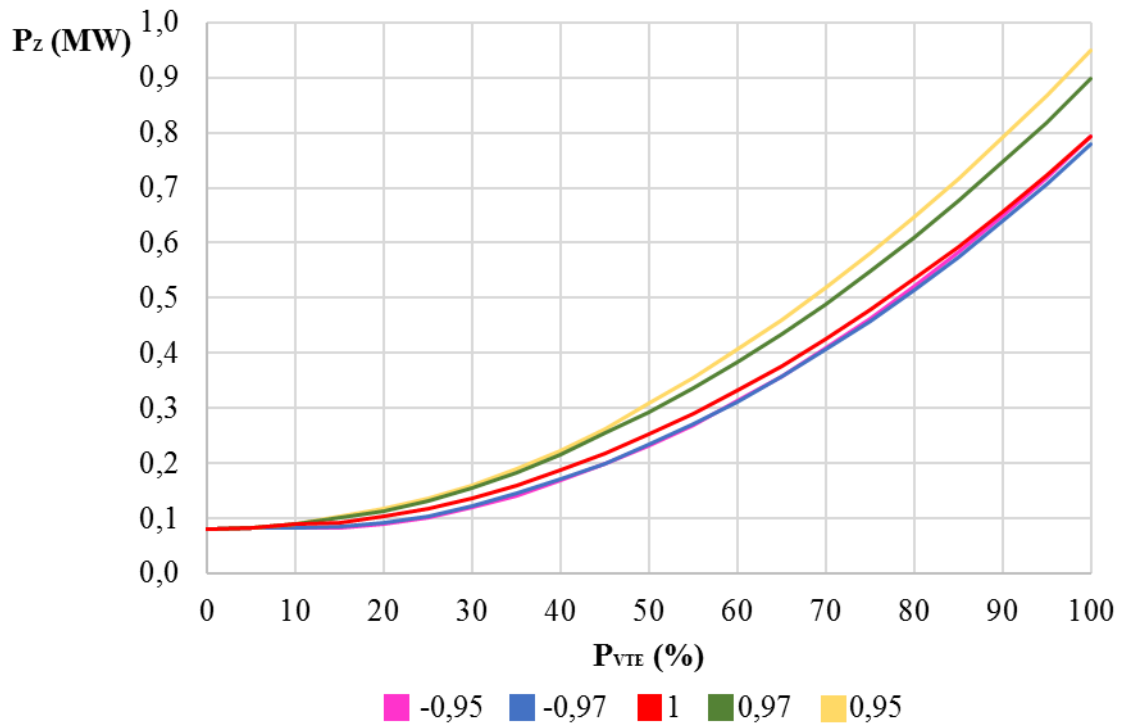
- Účinitk v závislosti na výkonu VTE



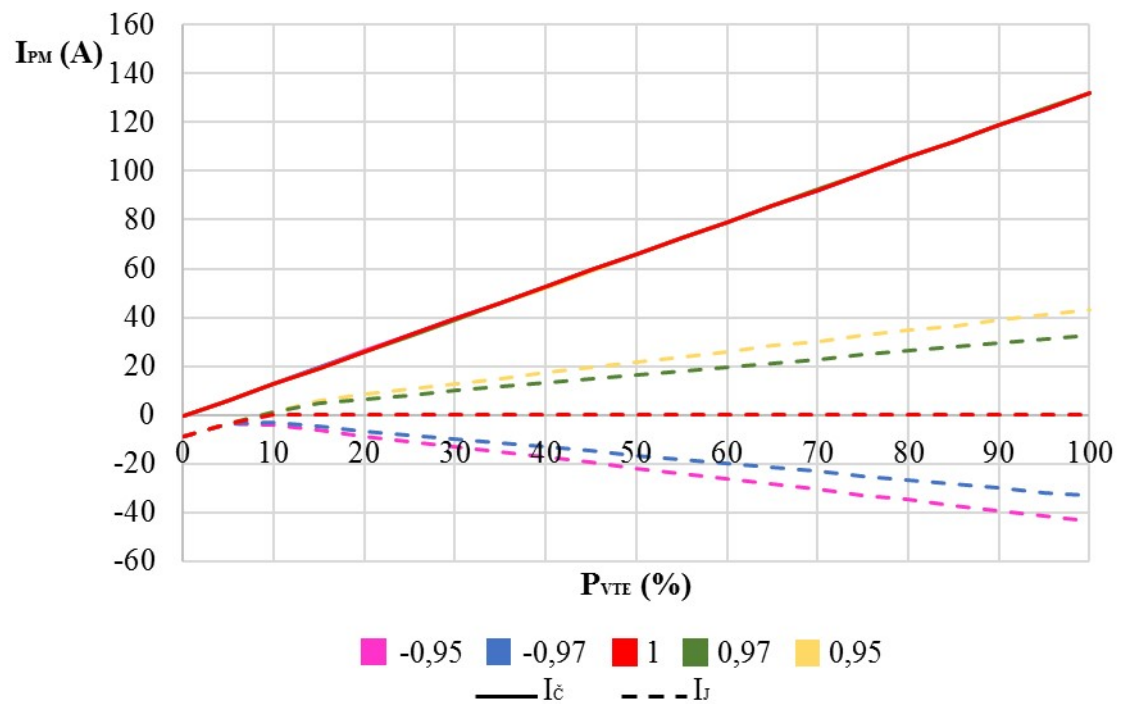
- Výkony v závislosti na výkonu VTE



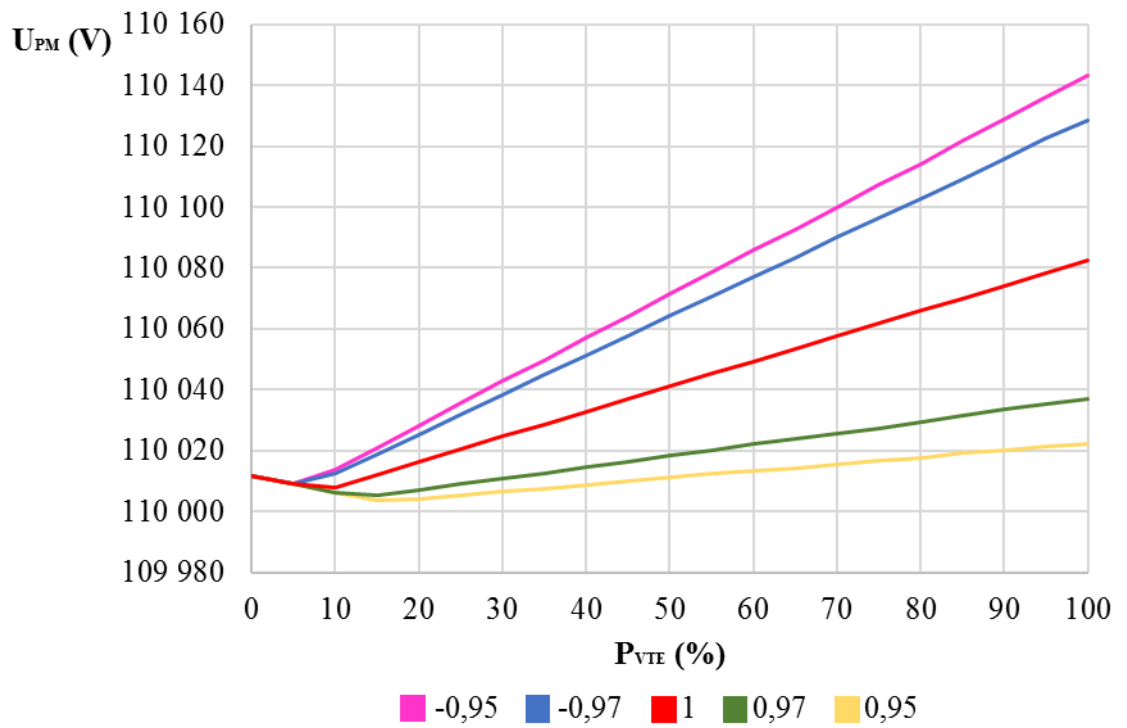
- **Ztráty v závislosti na výkonu VTE**



- **Proudy v závislosti na výkonu VTE**

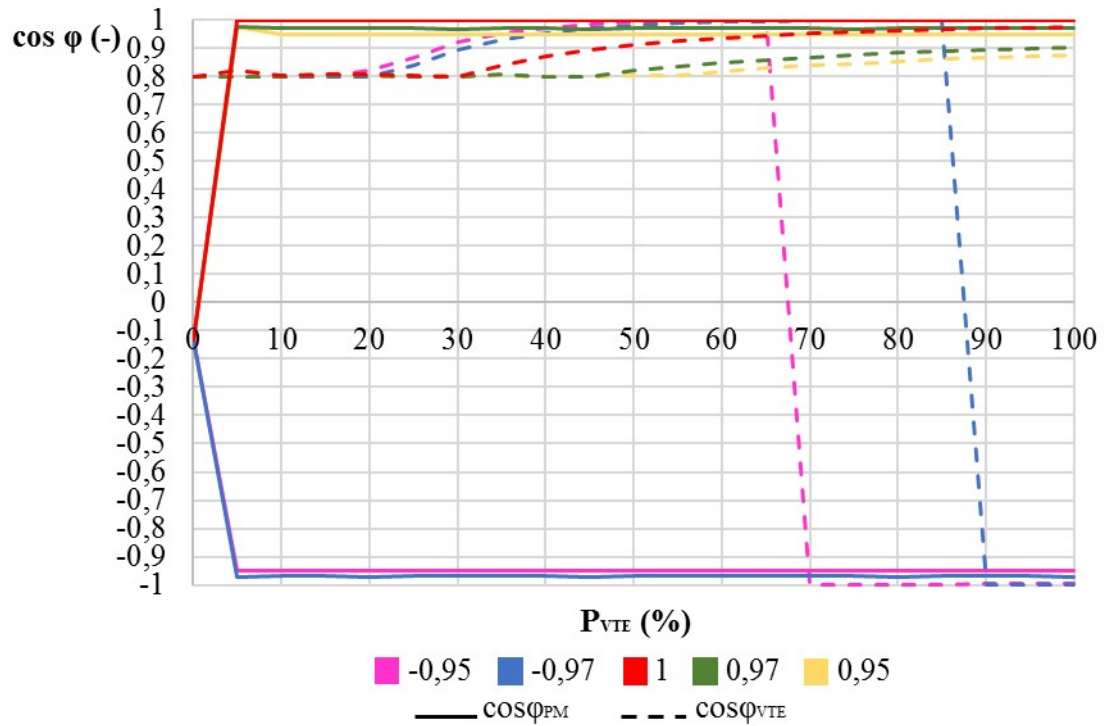


- **Napětí v závislosti na výkonu VTE**

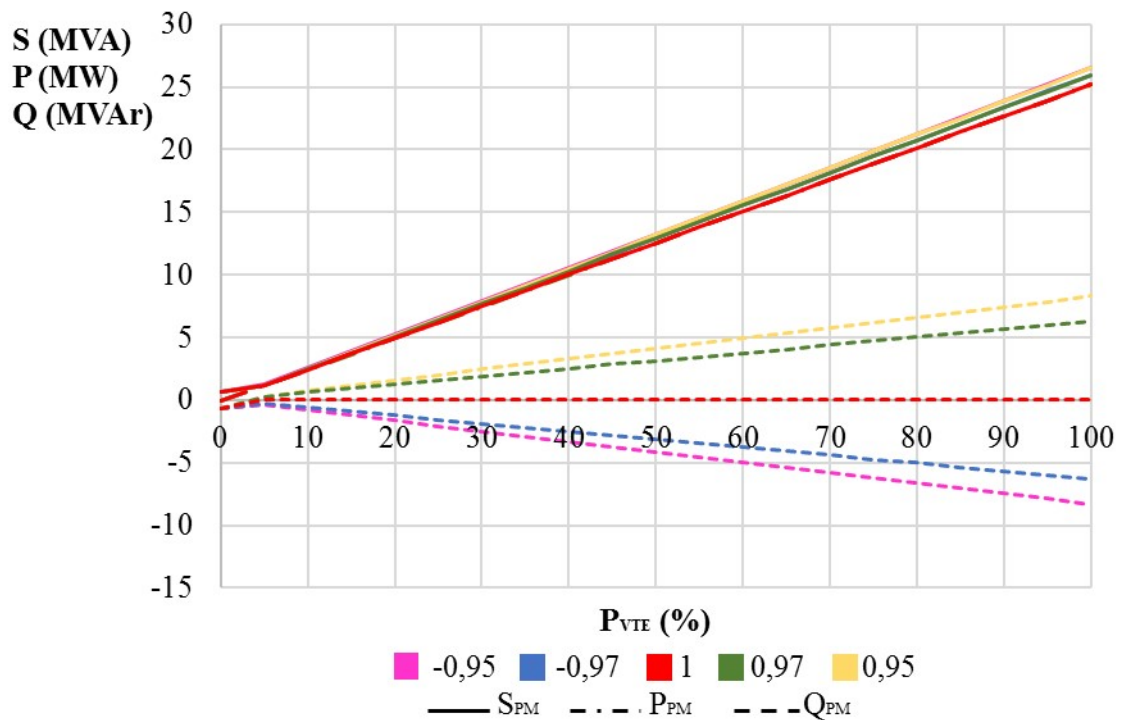


Příloha B.7 Grafy kompenzace laditelnou tlumivkou, 500 kVAr – 5 MVar

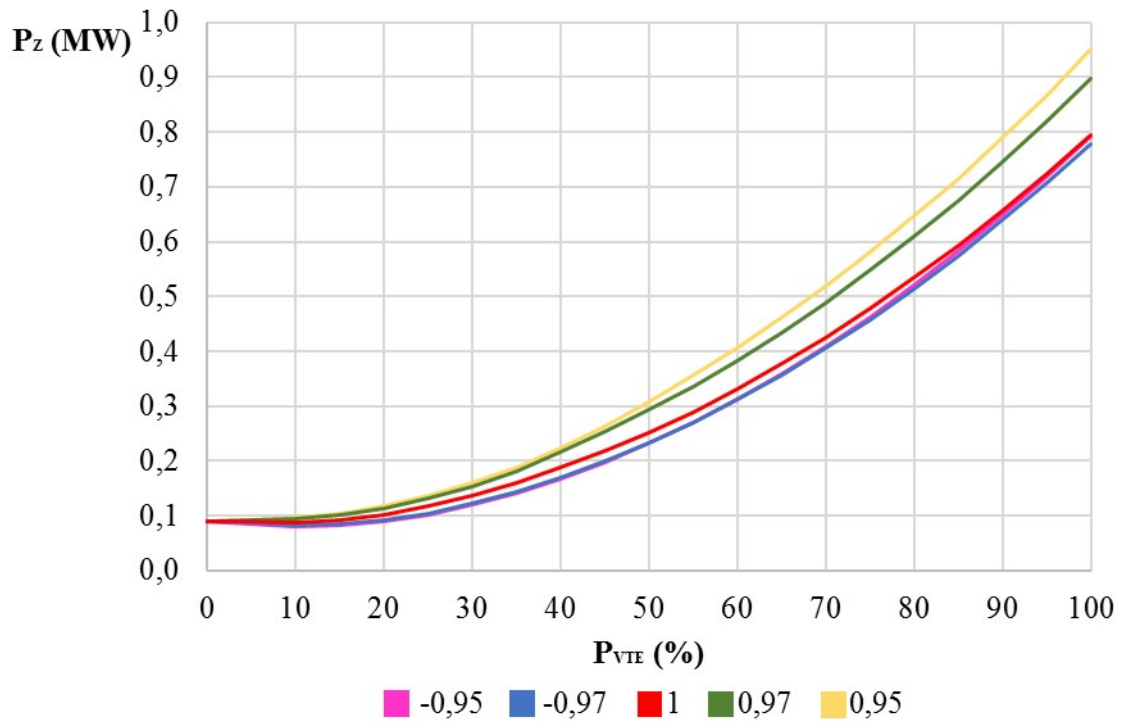
- Účinitk v závislosti na výkonu VTE



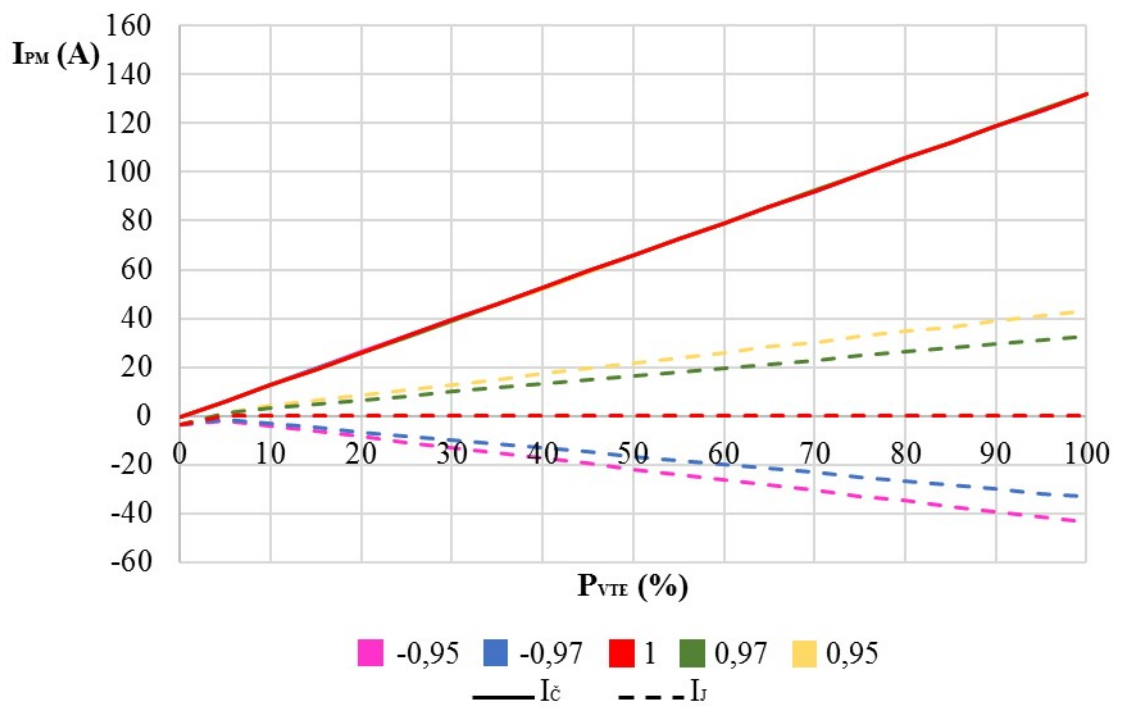
- Výkony v závislosti na výkonu VTE



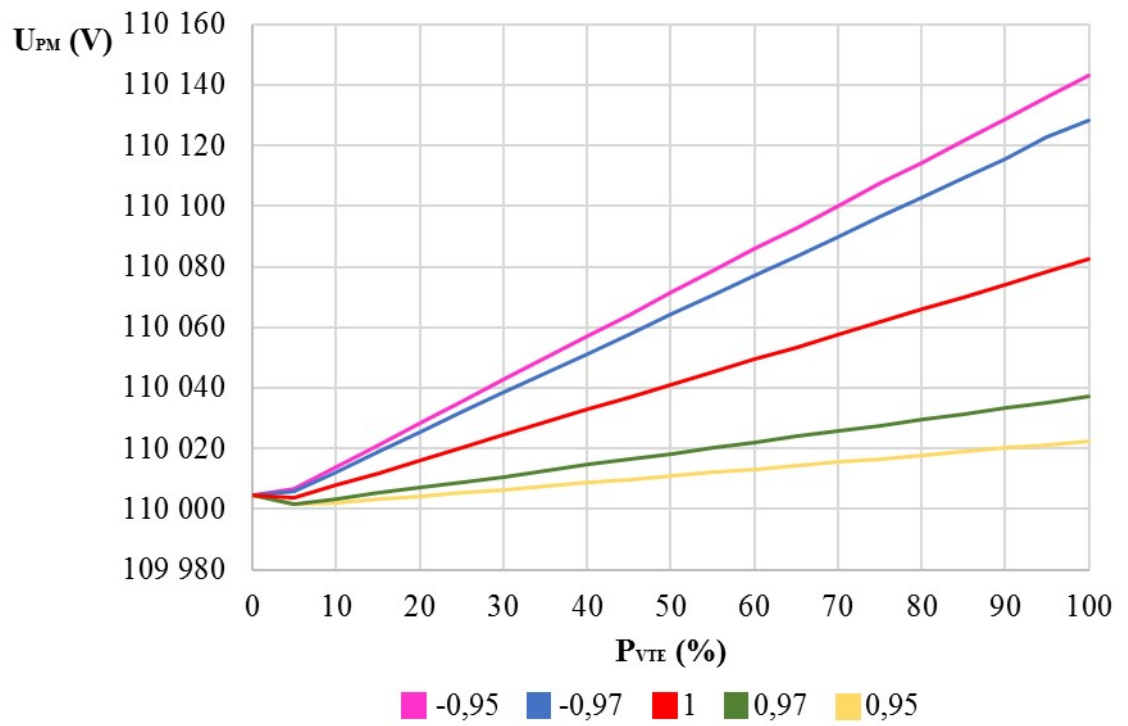
- **Ztráty v závislosti na výkonu VTE**



- **Proudy v závislosti na výkonu VTE**

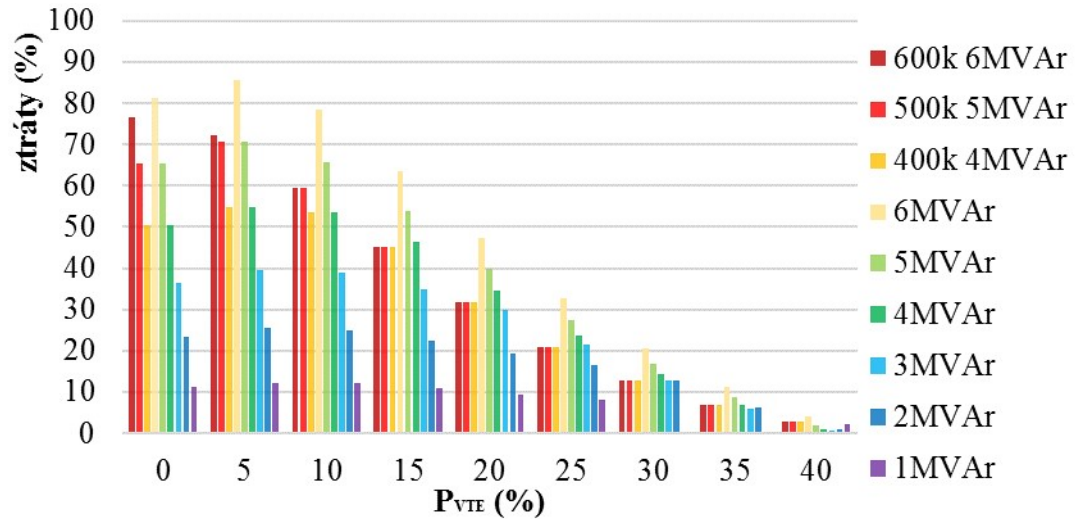


- **Napětí v závislosti na výkonu VTE**

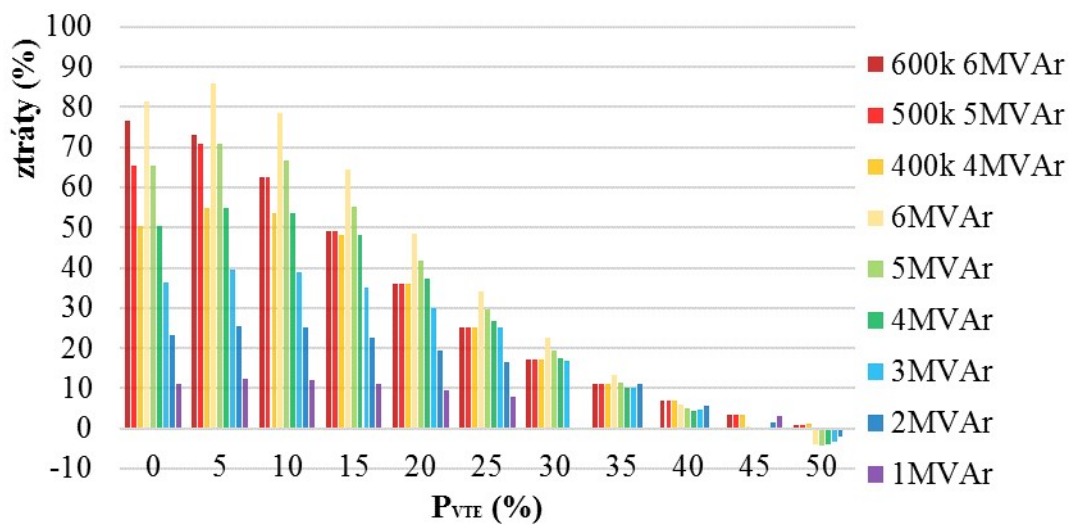


Příloha C.1 Grafy ztrát

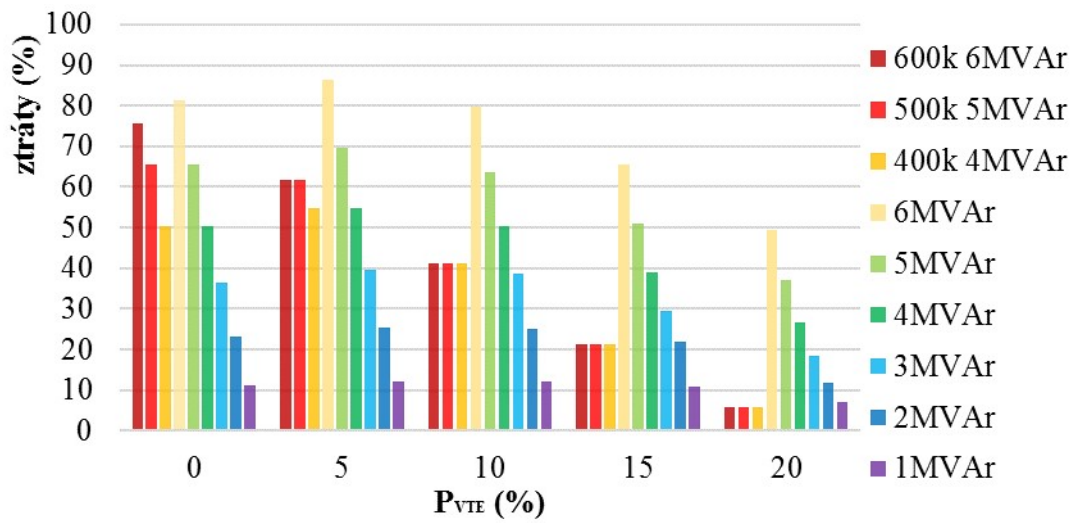
- Ztráty při požadavku na účinnost 0,97



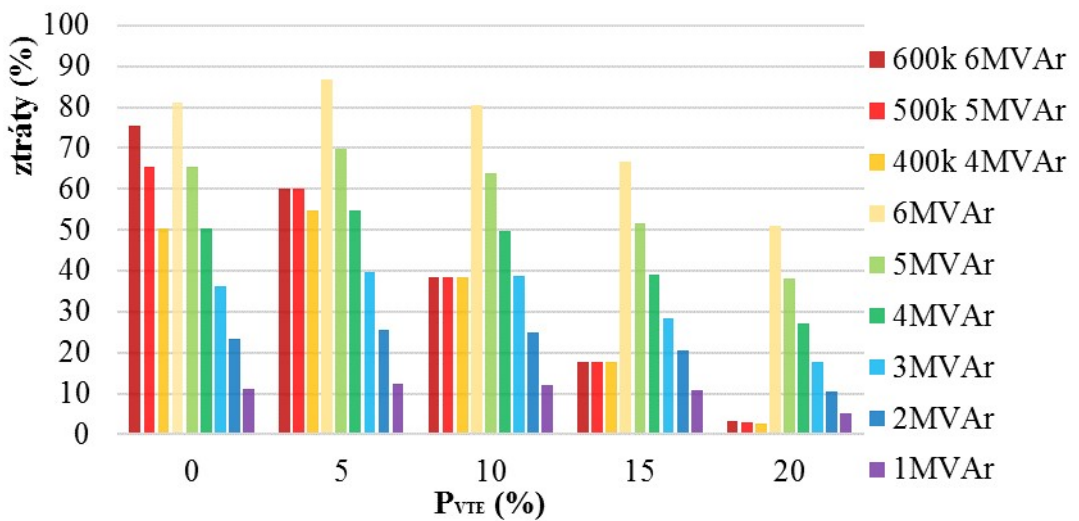
- Ztráty při požadavku na účinnost 0,95



- **Ztráty při požadavku na účinnost -0,97**



- **Ztráty při požadavku na účinnost -0,95**



Příloha D.1 Makro pro výpočet, calculate

```
Sub program()
```

```
For i = 2 To 22
```

```
Worksheets("VTE").Cells(12, 7) = Worksheets("calc").Cells(i, 11)
```

```
Worksheets("VTE").Cells(13, 12) = Worksheets("calc").Cells(i, 10)
```

```
Worksheets("calc").Cells(9, 3) = Worksheets("calc").Cells(i, 7)
```

```
Worksheets("calc").Cells(12, 3) = Worksheets("calc").Cells(i, 5) * Worksheets("calc").Cells(11, 3)
```

```
If Worksheets("calc").Cells(i, 8) = 1 Then
```

```
    Worksheets("obvod").Cells(26, 14) = Worksheets("obvod").Cells(10, 28)
```

```
    Worksheets("obvod").Cells(30, 20) = Worksheets("obvod").Cells(4, 28)
```

```
    Worksheets("obvod").Cells(30, 26) = Worksheets("obvod").Cells(5, 28)
```

```
    Worksheets("obvod").Cells(30, 32) = Worksheets("obvod").Cells(6, 28)
```

```
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 9) = Worksheets("obvod").Cells(95, 12) ' impedance s tlumivky
```

```
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 10) = Worksheets("obvod").Cells(95, 13)
```

```
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 11) = Worksheets("obvod").Cells(95, 14)
```

```
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 12) = Worksheets("obvod").Cells(95, 15)
```

```
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 13) = Worksheets("obvod").Cells(95, 16)
```

```
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 14) = Worksheets("obvod").Cells(95, 17)
```

```
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 15) = Worksheets("obvod").Cells(95, 18)
```

```
Else:
```

```
    Worksheets("obvod").Cells(26, 14) = Worksheets("obvod").Cells(10, 24)
```

```
    Worksheets("obvod").Cells(30, 20) = Worksheets("obvod").Cells(4, 24)
```

```
    Worksheets("obvod").Cells(30, 26) = Worksheets("obvod").Cells(5, 24)
```

```
    Worksheets("obvod").Cells(30, 32) = Worksheets("obvod").Cells(6, 24)
```

```
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 9) = Worksheets("obvod").Cells(93, 12) ' impedance bez tlumivky
```

```
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 10) = Worksheets("obvod").Cells(93, 13)
```

```
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 11) = Worksheets("obvod").Cells(93, 14)
```

```
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 12) = Worksheets("obvod").Cells(93, 15)
```

```
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 13) = Worksheets("obvod").Cells(93, 16)
```

```
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 14) = Worksheets("obvod").Cells(93, 17)
```

```
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 15) = Worksheets("obvod").Cells(93, 18)
```

```
End If
```

```
Worksheets("VTE").Cells(13, 15) = (Worksheets("VTE").Cells(13, 14)) * (Worksheets("calc").Cells(i, 9))
```

```
Worksheets("VTE").Cells(14, 15) = (Worksheets("VTE").Cells(14, 14)) * (Worksheets("calc").Cells(i, 9))
```

```
Worksheets("VTE").Cells(15, 15) = (Worksheets("VTE").Cells(15, 14)) * (Worksheets("calc").Cells(i, 9))
```

```
Worksheets("calc").Cells(i, 12) = Worksheets("calc").Cells(2, 3)
Worksheets("calc").Cells(i, 15) = Worksheets("calc").Cells(3, 3)
Worksheets("calc").Cells(i, 18) = Worksheets("calc").Cells(4, 3)
```

```
Worksheets("calc").Cells(i, 22) = Worksheets("calc").Cells(6, 3)
```

```
Worksheets("calc").Cells(i, 6) = Worksheets("calc").Cells(13, 3)
```

```
If Worksheets("calc").Cells(i, 8) = 1 Then
```

```
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 1) = Worksheets("obvod").Cells(94, 12) ' vypocet dalsich proudu s tlumivky
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 2) = Worksheets("obvod").Cells(94, 13)
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 3) = Worksheets("obvod").Cells(94, 14)
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 4) = Worksheets("obvod").Cells(94, 15)
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 5) = Worksheets("obvod").Cells(94, 16)
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 6) = Worksheets("obvod").Cells(94, 17)
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 7) = Worksheets("obvod").Cells(94, 18)
```

```
Else:
```

```
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 1) = Worksheets("obvod").Cells(92, 12) ' vypocet dalsich proudu bez
    tlumivky
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 2) = Worksheets("obvod").Cells(92, 13)
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 3) = Worksheets("obvod").Cells(92, 14)
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 4) = Worksheets("obvod").Cells(92, 15)
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 5) = Worksheets("obvod").Cells(92, 16)
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 6) = Worksheets("obvod").Cells(92, 17)
    Worksheets("ztraty").Cells(i, 7) = Worksheets("obvod").Cells(92, 18)
```

```
End If
```

```
Next i
```

```
End Sub
```

Příloha D.2 Makro pro uložení a vytvoření grafů, save

```
Sub save()
```

```
For x = 2 To 22
```

```
Worksheets("save").Cells(x, 5) = Worksheets("calc").Cells(x, 5)  
Worksheets("save").Cells(x, 6) = Worksheets("calc").Cells(x, 6)  
Worksheets("save").Cells(x, 7) = Worksheets("calc").Cells(x, 7)  
Worksheets("save").Cells(x, 8) = Worksheets("calc").Cells(x, 8)  
Worksheets("save").Cells(x, 9) = Worksheets("calc").Cells(x, 9)  
Worksheets("save").Cells(x, 10) = Worksheets("calc").Cells(x, 10)  
Worksheets("save").Cells(x, 11) = Worksheets("calc").Cells(x, 11)
```

```
Worksheets("save").Cells(x, 12) = Worksheets("calc").Cells(x, 25)  
Worksheets("save").Cells(x, 13) = Worksheets("calc").Cells(x, 26)
```

```
Worksheets("save").Cells(x, 15) = Worksheets("calc").Cells(x, 28)
```

```
Worksheets("save").Cells(x, 17) = Worksheets("calc").Cells(x, 30)  
Worksheets("save").Cells(x, 18) = Worksheets("calc").Cells(x, 33)  
Worksheets("save").Cells(x, 19) = Worksheets("calc").Cells(x, 38)
```

```
Worksheets("save").Cells(x, 21) = Worksheets("calc").Cells(x, 35)  
Worksheets("save").Cells(x, 22) = Worksheets("calc").Cells(x, 36)
```

```
Worksheets("save").Cells(x, 24) = Worksheets("calc").Cells(x, 40)
```

```
Next x
```

```
Worksheets("save").Cells(18, 2) = Worksheets("calc").Cells(18, 2)  
Worksheets("save").Cells(19, 2) = Worksheets("calc").Cells(19, 2)  
Worksheets("save").Cells(20, 2) = Worksheets("calc").Cells(20, 2)  
Worksheets("save").Cells(21, 2) = Worksheets("calc").Cells(21, 2)
```

```
Worksheets("save").Cells(18, 3) = Worksheets("calc").Cells(18, 3)  
Worksheets("save").Cells(19, 3) = Worksheets("calc").Cells(19, 3)  
Worksheets("save").Cells(20, 3) = Worksheets("calc").Cells(20, 3)  
Worksheets("save").Cells(21, 3) = Worksheets("calc").Cells(21, 3)
```

```
Worksheets("save").Cells(9, 3) = Worksheets("calc").Cells(9, 3)  
Worksheets("save").Cells(10, 3) = Worksheets("calc").Cells(10, 3)  
Worksheets("save").Cells(11, 3) = Worksheets("calc").Cells(11, 3)  
Worksheets("save").Cells(12, 3) = Worksheets("calc").Cells(12, 3)  
Worksheets("save").Cells(13, 3) = Worksheets("calc").Cells(13, 3)
```

```
Worksheets("save").Cells(9, 2) = Worksheets("calc").Cells(9, 2)  
Worksheets("save").Cells(10, 2) = Worksheets("calc").Cells(10, 2)  
Worksheets("save").Cells(11, 2) = Worksheets("calc").Cells(11, 2)  
Worksheets("save").Cells(12, 2) = Worksheets("calc").Cells(12, 2)  
Worksheets("save").Cells(13, 2) = Worksheets("calc").Cells(13, 2)
```

```
Worksheets("save").Cells(2, 2) = Date  
Worksheets("save").Cells(2, 3) = Time
```

```
Sheets("save").Select

Call chartA

Call chartB

Call chartC

Call chartD

Call chartE

Call radek

End Sub

Sub chartA()

    ActiveSheet.Shapes.AddChart2(240, xlXYScatterLines).Select

    ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
    ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Name = "=save!$J$1"
    ActiveChart.FullSeriesCollection(1).XValues = "=save!$K$2:$K$22"
    ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Values = "=save!$R$2:$R$22"

    ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
    ActiveChart.FullSeriesCollection(2).Name = "=save!$Q$1"
    ActiveChart.FullSeriesCollection(2).XValues = "=save!$K$2:$K$22"
    ActiveChart.FullSeriesCollection(2).Values = "=save!$Q$2:$Q$22"

    ActiveChart.ApplyChartTemplate ( _
        "C:\Users\thoma\AppData\Roaming\Microsoft\Templates\Charts\Graf2.crtx")

    ActiveChart.ChartTitle.Select
    Selection.Delete
    ActiveChart.SetElement (msoElementLegendBottom)

    With ActiveChart.Parent
        .Height = 250 ' resize
        .Width = 420 ' resize
        .Top = 25 ' reposition
        .Left = 1350 ' reposition
    End With
End Sub

Sub chartB()

    ActiveSheet.Shapes.AddChart2(240, xlXYScatterLines).Select

    ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
    ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Name = "=save!$O$1"
    ActiveChart.FullSeriesCollection(1).XValues = "=save!$K$2:$K$22"
    ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Values = "=save!$O$2:$O$22"

    ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
    ActiveChart.FullSeriesCollection(2).Name = "=save!$L$1"
    ActiveChart.FullSeriesCollection(2).XValues = "=save!$K$2:$K$22"
    ActiveChart.FullSeriesCollection(2).Values = "=save!$L$2:$L$22"

    ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
```

```
ActiveChart.FullSeriesCollection(3).Name = "=save!$M$1"
ActiveChart.FullSeriesCollection(3).XValues = "=save!$K$2:$K$22"
ActiveChart.FullSeriesCollection(3).Values = "=save!$M$2:$M$22"
```

```
ActiveChart.ApplyChartTemplate ( _
    "C:\Users\thoma\AppData\Roaming\Microsoft\Templates\Charts\Graf1.crtx")
```

```
ActiveChart.ChartTitle.Select
Selection.Delete
ActiveChart.SetElement (msoElementLegendBottom)
```

```
With ActiveChart.Parent
    .Height = 250 ' resize
    .Width = 420 ' resize
    .Top = 25 ' reposition
    .Left = 1810 ' reposition
End With
End Sub
```

```
Sub chartC()
```

```
ActiveSheet.Shapes.AddChart2(240, xlXYScatterLines).Select
```

```
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Name = "=save!$S$1"
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).XValues = "=save!$K$2:$K$22"
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Values = "=save!$S$2:$S$22"
```

```
ActiveChart.ApplyChartTemplate ( _
    "C:\Users\thoma\AppData\Roaming\Microsoft\Templates\Charts\Graf1.crtx")
```

```
ActiveChart.ChartTitle.Select
Selection.Delete
ActiveChart.SetElement (msoElementLegendBottom)
```

```
With ActiveChart.Parent
    .Height = 250 ' resize
    .Width = 420 ' resize
    .Top = 25 ' reposition
    .Left = 2270 ' reposition
End With
```

```
End Sub
```

```
Sub chartD()
```

```
ActiveSheet.Shapes.AddChart2(240, xlXYScatterLines).Select
```

```
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Name = "=save!$U$1"
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).XValues = "=save!$K$2:$K$22"
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Values = "=save!$U$2:$U$22"
```

```
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).Name = "=save!$V$1"
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).XValues = "=save!$K$2:$K$22"
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).Values = "=save!$V$2:$V$22"
```

```
' ActiveChart.ApplyChartTemplate ( _
    "C:\Users\thoma\AppData\Roaming\Microsoft\Templates\Charts\Graf1.crtx")

ActiveChart.ChartTitle.Select
Selection.Delete
ActiveChart.SetElement (msoElementLegendBottom)

With ActiveChart.Parent
    .Height = 250 ' resize
    .Width = 420 ' resize
    .Top = 25 ' reposition
    .Left = 2725 ' reposition
End With

End Sub

Sub chartE()

    ActiveSheet.Shapes.AddChart2(240, xlXYScatterLines).Select

    ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
    ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Name = "=save!$X$1"
    ActiveChart.FullSeriesCollection(1).XValues = "=save!$K$2:$K$22"
    ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Values = "=save!$X$2:$X$22"

' ActiveChart.ApplyChartTemplate ( _
    "C:\Users\thoma\AppData\Roaming\Microsoft\Templates\Charts\Graf1.crtx")

ActiveChart.ChartTitle.Select
Selection.Delete
ActiveChart.SetElement (msoElementLegendBottom)

With ActiveChart.Parent
    .Height = 250 ' resize
    .Width = 420 ' resize
    .Top = 25 ' reposition
    .Left = 3170 ' reposition
End With

End Sub

Sub radek()

For a = 2 To 24

Sheets("save").Range("e2").Select
ActiveCell.EntireRow.Insert shift:=aDown
Next a

Sheets("calc").Select
End Sub
```